MINERAL BULLETIN MR 196

CHROMIUM

AN IMPORTED MINERAL COMMODITY

MARCH 1982

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Mineral and Earth Sciences Program
Programme des Minéraux et des Sciences de la Terre

91-00096/

Minister of Supply and Services Canada 1983

Available in Canada through

Authorized Bookstore Agents
and other bookstores

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

Catalogue No. M38-2/196
ISBN 0-660-52069-9

Canada: $ 4:00
Other countries: $ 4:80

Price subject to change without notice

ABSTRACT

This report, the third in a series on imported mineral commodities, examines Canada's position in regard to the principal chromium materials: chromite, ferrochromium, other chromium-bearing alloys, and chromium chemicals.

It lists the Canadian uses for these chromium materials and discusses current sources of supply for Canadian users in an international context.

Possible alternative sources of supply, both foreign and domestic, are considered and the possibility of using substitute materials in various end-uses is examined. The report is intended to be a basis for the consideration of options and recommendations for government policy.

FOREWORD

Canadians are becoming increasingly conscious of the importance of their mineral domain. Producing some 60 mineral commodities, Canada ranks third in the world - after the United States and the U.S.S.R. - in value and diversity of mineral production, and is the world's foremost exporter of minerals.

As Canada enjoys a privileged position - not only because of the substantial mineral resources within its borders but also because it has the ability to produce most of its own mineral requirements - it may come as a surprise to many Canadians that the value of imports of mineral and mineral-based products amounts to several billion dollars each year.

Some of these products, such as iron ore and various industrial minerals, are also mined in this country; others, such as bauxite, chromium, manganese, and phosphate rock, are not.

Given current concerns about an increasingly unstable international situation, greater attention is now being paid by government to those mineral commodities that Canada must import. Other industrialized countries, whose economic vulnerability is far greater than our own because of their lesser degree of mineral self-sufficiency, have also been taking a closer look at their individual situations with respect to such imports.

To determine Canada's vulnerability to shortages in supply of a particular imported mineral product, answers must be sought to questions such as:

- In what countries does the given mineral product originate?
- What routes does it follow in coming to Canada?
- How vulnerable is this supply chain to political or other disruptions?
- How much of the mineral product is used to produce what?
- Are there alternative sources of supply?
- What are the substitute materials that can be obtained domestically or from other countries?
- What actions would be required to obtain this mineral product from another source or to use a substitute?
- In summary: how serious is Canada's potential supply problem for the mineral in question and what should be done about it now?

This report on CHROMIUM - a metal used mainly as an alloying element and (in the form of chromite) as a refractory in the steel industry - looks at one of the relatively few raw materials for which Canada is currently totally dependent upon imports. It is the third of a series aimed at assessing possible problems in obtaining supplies of selected non-fuel minerals, to provide background information for government policy, which might involve such actions as guiding research that could lead to less dependence on external sources.

The following individuals in the Department of Energy, Mines and Resources cooperated in the preparation of this report: K.E. Bell, M.C. Campbell (Mineral Sciences Laboratories), Dr. J.D. Boyd, Dr. M.J. Godden (Physical Metallurgy Research Laboratories), all of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology; Dr. J.M. Duke, Dr. G.B. Leech, Geological Survey of Canada; D.E.C. King, D.G. Law-West and Dr. J. Zwartendyk of the Mineral Policy Sector.

The study was coordinated by Dr. A.B.T. Werner of the Resource Evaluation Division, Mineral Policy Sector.

C.G. Miller
Assistant Deputy Minister
(Mineral Policy)

CONTENTS

	Page
PART I. PRINCIPAL CHROMIUM SUB-PRODUCTS	1
Introduction	1
Chromite	1
Chromium Metal	1
Ferrochromium	2
Other Chromium-Bearing Alloys	4
Chromium Chemicals	4
Chromium Refractories	6
Conclusions from Part I	7
References	7
PART II. PRINCIPAL CANADIAN USES OF CHROMIUM SUB-PRODUCTS	8
Chromite	8
Chromium Metal	8
Ferrochromium	8
Other Chromium-Bearing Alloys	10
Chromium Chemicals	10
Chromium Refractories	10
Conclusions from Part II	11
PART III. CANADA'S SOURCES OF CHROMIUM SUB-PRODUCTS	12
A. Domestic	12
Chromite	12
Chromium Metal	12
Ferrochromium	12
Other Chromium-Bearing Alloys	12
Chromium Chemicals	12
Chromium Refractories	12

Page

B. Foreign 13

Chromite 13

Chromium Metal 13

Ferrochromium 13

Other Chromium-Bearing Alloys 16

Chromium Chemicals 16

Chromium Refractories 16

Conclusions from Part III 17

PART IV. WORLD SUPPLY CAPABILITY 18

Chromite 18

i) World Reserves 18

ii) Current World Supply Capability 19

iii) World Output in Recent Years 19

iv) Planned Additions to Production Capacity 19

Ferrochromium 21

i) World Capacity and Output in Recent Years 21

ii) Planned Additions to World Capacity 29

Chromium Metal 32

Conclusions from Part IV 32

References 33

PART V. ALTERNATIVE SOURCES OF SUPPLY 34

Chromite 34

i) From Possible Canadian Production 34

a) Bird River, Manitoba 34
b) Eastern Townships, Quebec 35
c) Other Areas 36

ii) From Current and Prospective Foreign Sources 36

Ferrochromium 37

From Possible Canadian Producers 37

	Page
Chromium Chemicals	38
From Possible Canadian Producers	38
Chromium Refractories	38
From Possible Canadian Producers	38
Conclusions from Part V	38
References	39
PART VI. SUBSTITUTE MATERIALS	41
Chromium Metal	41
Ferrochromium	41
Other Chromium-Bearing Alloys	41
Chromium Chemicals	42
Chromium Refractories	42
Conclusions from Part VI	42
PART VII. SUMMARY	43
Canadian Uses	43
Current Sources	43
World Supply	44
Possible Domestic Sources	44
Substitutes	44
Stocks	45
References	45
PART VIII. RECOMMENDATIONS	46

APPENDICES

1	Average Annual Prices of Selected Chromites, 1970-80	51
2	Prices of Chromium Metal and Various Grades of Ferrochromium	52
3	Prices of Various Chromium Chemicals	53

		Page
4	Canadian Customs Tariffs on Imported Chromium Materials	54
5	Chromite, Country by Country Reviews	55
	Albania	55
	Brazil	55
	Cuba	55
	Cyprus	55
	Finland	55
	Greece	56
	India	56
	Iran	56
	Madagascar	56
	Pakistan	56
	Philippines	56
	Republic of South Africa	56
	Sudan	59
	Turkey	59
	United States	59
	U.S.S.R.	59
	Zimbabwe	60
	Other Countries	61
6	Ferrochromium, Country by Country Reviews	64
	Albania	64
	Brazil	64
	China	64
	Finland	64
	France	64
	India	64
	Japan	64
	Mexico	65
	Norway	65
	Philippines	65
	Republic of South Africa	65
	Sweden	65
	Turkey	65
	United States	66
	U.S.S.R.	66
	Yugoslavia	66
	Zimbabwe	66
7	Selected Reports on Chromium Prepared by Energy, Mines and Resources Canada and Predecessor Agencies	68
8	General References	69

TABLES

1	Traditional Specifications for Chrome Ore Grades	2
2	Standard Grades of Chromium Metal and Ferrochromium Alloys	3
3	Formulae and Chromium Content of Some Chromium Chemicals	5
4	Canada, Chromium Consumption, 1970, 1975-80	8

		Page
5	Canada, Chromium Imports, 1979 and 1980	14
6	Principal Sources of Canada's Chromium Sub-Products	17
7	World Chromite Reserves (as of January, 1980)	19
8	Nominal Chromite Production Capacity	20
9	Principal World Chromite Producers	20
10	World Production of Chromite, by Country, Selected Years from 1960 to 1980	22
11	Planned Additions to World Chromite Production Capacity	23
12	Major World Ferrochromium Production Plants, Estimated Capacity	24
13	Production of Ferrochromium, by Country, 1977-80	29
14	Planned Additions to World Ferrochromium Production Capacity	30
15	World Metallic Chromium Production Capacity as of September, 1977	31
16	Production of Ferrochromium-Silicon, by Country, 1977-80	32
17	Courses of Action Currently Possible in the Face of Interruptions to the Supply of Chromium Materials	47
A-1	United States Chromium Stockpile Status as of November 30, 1980	60
A-2	Great Dyke Chromite Ores	61

FIGURES

1	Canada, Consumption of Ferrochromium, 1960-1979 and Projections to 1990	9
2	Principal Producers of Chromite, 1980	15
3	Principal Producers of Ferrochromium, 1980	28
A-1	Southern Africa: Chromium Operations	57

PART I. PRINCIPAL CHROMIUM SUB-PRODUCTS

Introduction

Chromium is essential to modern industry. It is used in a wide variety of products such as stainless high-strength and oxidation-resistant steels, chemicals for tanning leather, and refractories for metallurgical furnaces. These industries consume it in several forms: chromite, chromium metal, ferrochromium, chromium chemicals, catalysts, refractory bricks, and foundry sands.

Chromite

Although chromium is an essential constituent of a large number of naturally occurring compounds, chromite is the only mineral which is commercially exploited. Pure chromite has the chemical formula $Fe^{2+}Cr_2O_4$, but the name is broadly applied to chrome-rich members of the spinel group of minerals which are solid solutions having the general formula $(Fe^{2+},Mg)\ (Cr,Al,Fe^{3+}O)_2O_4$. Thus, natural chromites exhibit a wide range of compositions which reflect their geological settings and environments of formation. The composition of chromite in a given deposit determines to a large extent its commercial viability and possible applications of the ore. Prices for selected varieties are listed in Appendix 1.

Traditionally, chromite ore was classified according to its expected industrial end-use, namely as metallurgical, refractory, chemical or foundry-grade material (Table 1). However, changes have taken place both in ferrochromium production technology and in the use of ferrochromium in steelmaking, and these specifications must be qualified in the light of current practice which permits some degree of substitution between material falling into the four categories.

Current nomenclature reflects chromite composition rather than end-use. High-chromium ores, with high Cr:Fe ratios, are used mainly for metallurgical applications - principally for making ferrochromium. High-iron chromites, previously used mostly for the production of chromium-base chemicals, are now finding increased use in making low quality ferrochromium and are also being used to make refractories, and as foundry sands. High-aluminum chromites with relatively low iron and silica are used mainly for refractory purposes, primarily in the manufacturing of magnesite-chromite and chromite-magnesite brick.

Chromium Metal

Chromium metal of various levels of purity may be produced by either pyrometallurgical or electrolytic processes[1]. Prices for chromium metal of various specifications are given in Appendix 2.

A pyrometallurgical process based on the reduction of chemically produced chromium oxide with aluminum produces a 97-99 per cent pure metal of which the chief impurities are aluminum, iron, silicon, and minor amounts of sulphur, carbon and nitrogen. A metal lower in aluminum content but higher in silicon content is produced by the reduction of chromic oxide by silicon in an electric arc furnace, while a variety with low contents of carbon, oxygen, nitrogen, silicon and iron is made by reducing the oxide with carbon under reduced pressure in a suitable refractory crucible.

Electrolytic methods involve electrowinning from chrome alum and chromic acid, both methods resulting in a metal of higher purity than that obtained by the pyrometallurgical approach. In certain instances the metal may be still further refined to remove oxygen.

Table 1

Traditional Specifications for Chrome Ore Grades

	Metallurgical	Refractory	Chemical	Foundry
Cr:Fe ratio (minimum)	3:1	*	*	*
Cr_2O_3 (minimum)	48.0%	31.0%	44.0%	44.0%
Fe_3O_3 (maximum)	*	15.0%	*	26.0%
$CrO_3 + Al_2O_3$ (minimum)	*	58.0%	*	*
SiO_2 (maximum)	*	6.0%	*	4.0%
CaO (maximum)	*	1.0%	*	0.5%
S (maximum)	0.08%	*	*	*
P (maximum)	0.04%	*	*	*
Physical characteristics	Preferably hard and lumpy	Friable	Preferably hard and lumpy	Requires specific grain sizing

Sources: Energy, Mines and Resources Canada; W. Omer-Cooper and P.G.G. Moeskops, "Chromium and Chromite - A Review with Particular Reference to Australia"; Amdel Bulletin, No. 23, Oct. 1978, pp.7-23; and D. Raicevic, "Methods for Chromium Recovery from Manitoba Bird River Chromite Deposits", Canadian Mining Journal, Vol. 98, No. 11, Nov. 1977, pp.61-68.

* Not specified in source materials.

Chromium metal is used in the production of certain high-chromium alloys, "superalloys" rich in nickel and cobalt, and to "top up" the chromium content of chromium-bearing steels produced with the use of ferrochromium.

Ferrochromium

"Ferrochromium" is a general term applied to a number of masteralloys of several grades[2] including ferrochromium-silicon, high-carbon ferrochromium, low-carbon ferrochromium and charge-chromium (Table 2). These are used to provide the chromium contents of stainless steels which require a minimum of 12 per cent chromium for corrosion resistance but may contain as much as 30 per cent chromium for specific combinations of corrosion and high-temperature oxidation resistance. Prices for various grades are listed in Appendix 2.

The ferrochromium group consists of the following:

(a) **Ferrochromium-silicon,** which can be made either in a single step (by direct-smelting a premixed charge of low-quality chromite, silica and coke), or by a two-step process, the first stage involving the production of high-carbon ferro-chromium, followed by smelting with silica and coke;

Table 2

Standard Grades of Chromium Metal and Ferrochromium Alloys

Grade	Chromium	Silicon	Carbon	Sulphur (Maximum)	Phosphorus (Maximum)	Other
	(% of principal constituent)[1]					
Chromium Metal						
Electrolytic	99.3[2]	.01[3]	.02[3]	.03	--	.05[3] oxygen .05[3] nitrogen
Aluminothermic	99.3[2]	.15[3]	.05[3]	.015	.01	.2[3] oxygen .3[3] aluminum
Ferrochromium-silicon						
36/40 grade	35-37	39-41	.05[3]	--	--	--
40/43 grade	39-41	42-45	.05[3]	--	--	--
Ferrochromium						
High-carbon	66-70	1-2	5-6.5	.04	.03	--
Low-carbon						
0.025% carbon	67-75	1[3]	.025[3]	.025	.03	--
0.05% carbon	67-75	1[3]	.05[3]	.025	.03	--
Charge chromium						
50-55% chromium	50-55	3-6	6-8	.04	.03	--
66-70% chromium	66-70	3[3]	5-6.5	.04	.03	--

Source: "Table 2 - Composition of typical chromium alloys and chromium metal". Mineral Facts and Problems, 1975 Edition. Bulletin 667, U.S. Bureau of Mines, p. 243.

[1] Difference between sum of percentages shown and 100 per cent is chiefly iron content. [2] Minimum. [3] Maximum.
-- Not specified in source tables.

(b) **High-carbon ferrochromium,** which is made by reducing high-quality chromite (lumpy, over 46 per cent Cr_2O_3, with a minimum chromium to iron ratio of three and a maximum silica content of 10 per cent) with coke in an electric furnace;

(c) **Low-carbon ferrochromium,** which is made by using a lower quality of chromite ore put through a two-stage process of first smelting the ore to produce a (practically carbon free) high-silicon ferrochromium and then refining it to remove most of the silicon.

The two-stage process adds about 50 per cent to the energy input needed per unit of chromium and thus adds considerably to cost. Other, (proprietary) methods of making low-carbon ferrochromium have been developed. For example, Union Carbide Corporation developed the Simplex method, in which a ferrochromium of very low-carbon content (0.01 per cent) is produced in a solid-state process by heating high-carbon ferrochromium with oxidized ferrochromium in a high vacuum, with carbon removed as carbon monoxide;

(d) **Charge-chromium** - in reality a high-carbon low-chromium masteralloy for charging directly to the furnace in steelmaking - is made from low-grade metallurgical and chemical (44 per cent Cr_2O_3, Cr:Fe=1.5) chromites. It contains 53-58 per cent chromium as compared to 70 per cent chromium in other more versatile varieties.

In the manufacture of high-alloy and stainless steels, traditional steelmaking practice demanded low-carbon ferrochromium or even chromium metal. However, in the late 1960s, a new steelmaking technique called AOD (argon-oxygen decarburization), developed by Union Carbide Corporation, achieved removal of carbon from steel without the coincidental oxidation and loss of chromium to the slag. This has enabled steelmakers to use less expensive higher-carbon ferrochrome and lessen their dependence on specialty suppliers. This technology, now in wide use, has resulted in a lower use of low-carbon ferrochromium and of the chromite required to make it. Low-carbon ferrochromium does, however, still find applications as a final additive to adjust chromium content and in the manufacture of superalloys.

Traditionally, only high-grade lumpy ore has been used to produce ferrochromium in electric arc furnaces. However, Outokumpu Oy[3] has produced "charge chrome" on a commercial scale using concentrates from lower-grade ores in their closed charge furnace.

Other Chromium-Bearing Alloys

Chromium, in varying amounts, can be alloyed with various other metals in the manufacture of specific-use products.

Chromium-aluminum alloys (0.1-0.3 per cent Cr) are used for forgings, sheet, and tubing applications where intermediate strength and excellent corrosion resistance are required. Some applications of chromium-aluminum alloys are: fuel tanks and other transportation equipment, roofing materials, home appliances, furniture and structural parts for aircraft.

Chromium is added in appreciable amounts (over 20 per cent Cr) to alloys in which cobalt is the major constituent with molybdenum, tungsten, nickel and carbon present in lesser amounts. These alloys are used in a number of applications which include lathe cutting tools, hard-facing materials, permanent magnets, and high-temperature alloys.

Chromium, added in minor amounts (0.4-1.0 per cent Cr), improves the mechanical and electrical properties of copper. Chromium-copper alloys can be manufactured into high-tensile rods and wire with strengths of 483 MPa and 621 MPa, respectively.

Chromium-nickel alloys and chromium-iron-nickel alloys (containing up to 25 to 30 per cent Cr) can be classified according to the following physical properties: heat resistance, corrosion resistance and high-temperature strength. Alloys that feature heat resistance are commonly used as heating elements in electrical appliances such as electric ranges, toasters, irons and hot-water heaters. Auxiliary alloying agents such as copper, molybdenum, or tungsten are often added to the basic chromium-iron-nickel alloy to enhance corrosion resistance, while aluminum, cobalt, niobium and titanium are added to enhance high-temperature strength.

When chromium is added to titanium in amounts up to 5 per cent Cr the tensile strength of pure titanium metal almost doubles. Further increases in strength are obtained by additions of 0.25 per cent C and 0.20 per cent N. Because of their high strength and light weight, titanium-base alloys are used in structural and non-structural applications for the aerospace industry.

Chromium Chemicals

Sodium chromate and sodium dichromate are the principal chromium chemicals produced directly from chromite ore, which, for this purpose, should be as high in chromium and as low in silicon and alumina as possible. Other chromium compounds are made from them. The principal and secondary compounds produced commercially are given in Table 3. Prices of various chromium chemicals are listed in Appendix 3.

Sodium chromate and dichromate are produced by the salt roasting of chromite, a method of passing a finely ground mixture of chromite, soda ash and lime through an oil- or coke-fired kiln to produce soluble salts. This results in a product from which sodium chromate is leached. Sodium chromate is obtained directly from the leaching operation and is sold as either hydrous or anhydrous sodium chromate. To produce sodium dichromate, the leach solution is concentrated and then treated with either sulphuric acid or pressurized carbon dioxide to convert sodium chromate to sodium dichromate in solution. Cooling the solution causes sodium dichromate dihydrate to crystallize[4]. This compound is sold in technical and

Table 3

Formulae and Chromium Content of Some Chromium Chemicals

		Chromium %	Chromic Oxide %[1]
Sodium chromate	Na_2CrO_4	32	47
Potassium chromate	K_2CrO_4	27	39
Sodium dichromate - dihydrate	$Na_2Cr_2O_7.2H_2O$	35	51
Sodium dichromate - anhydrous	$Na_2Cr_2O_7$	40	58
Potassium dichromate	$K_2Cr_2O_7$	35	52
Chromium trioxide (chromic acid)	CrO_3	52	..
Chromic oxide	Cr_2O_3	68	100
Chromic hydroxide	$Cr(OH)_3$	50	74
Lead chromate (chrome yellow)	$PbCrO_4$	16	24
Zinc chromate[2]	$ZnCrO_4$	29	42
Zinc chromate pigment	$4ZnO.K_2O_4.CrO_3.3H_2O$	23	34
Chromic sulphate	$Cr_2(SO_4)_3.18H_2O$	15	21
Basic chromium sulphate	$Cr(OH)SO_4$	31	46
Potassium chrome alum	$KCr(SO_4).12H_2$	10	15
Ammonium chrome alum	$NH_4Cr(SO_4)_2.12H_2O$	11	16

Source: "Table 14, Formulae, molecular weights and chromium content of some chromium chemicals", Roskill Information Services Ltd., The Economics of Chromium: Third Edition, 1978, p. 22.

[1] To nearest unit. [2] Although zinc chromate is frequently referred to and trade figures are given for it by several countries, zinc chromate pigment is probably meant.
.. Not available.

chemically pure grades as well as in a 70 per cent solution. Sodium dichromate is reduced to basic chromium sulphate for use as a tanning agent in the leather industry. It is also used to make a variety of pigments, notably chromic oxide green - the most stable green pigment known. This product is used in colouring cement as well as in camouflage paints.

Other important chromium pigments are: chrome yellow, which is essentially lead chromate $PbCrO_4$, available commercially to produce shades from the palest yellow to dark orange; zinc yellow, a hydrated basic potassium zinc chromate, which is unequalled as a corrosion-inhibitor on light metals and on steel (an ingredient of priming dips for automobile bodies); molybdate orange, a combination of lead chromate and molybdenum salts; and chrome green, a combination of lead chromate and iron blue. Both of the last two pigments are used for their excellent covering and hiding powers[5].

Chromic acid is the basic raw material for chromium electroplating used for decorative purposes and to provide corrosion resistance.

Chromium Refractories

Chromium, in the form of chromite ore, finds important applications in the manufacture of refractories. Its usefulness for this purpose is based on certain physical properties such as high melting point, moderate thermal expansion, crystalline stability at high temperatures and neutral chemical behaviour. The specifications for refractory-grade chromite are not as rigid as those for the other grades of ore. Compositionally, the ore should average about 35 per cent Cr_2O_3, less than 12 per cent Fe and 6 per cent Si, and 60 per cent $Cr_2O_3 + Al_2O_3$ combined[6]. Physically the ore should be of the hard lumpy type. However, chromite fines are also suitable for chromite-magnesite bricks and refractory brick cement.

The use of chromite in refractory brick production has undergone considerable change in recent years. Bricks made entirely of chromite have been largely replaced by bricks made from mixtures of chromite and magnesite which have greater volume stability and resistance to spalling. The declining availability of high-grade refractory chrome ores led to a relaxation of specifications. However, changes in steelmaking technology have, at the same time, demanded higher service specifications for refractories. The net result has been a substantial decline in the consumption of chrome ore for refractories[7]. In Japan consumption declined from 1.49 kg chrome ore per tonne (t) of steel to 0.57 kg/t over the decade 1967 to 1977.

Chromite is used in refractories in combination with magnesia to produce chrome-magnesite brick containing 70 per cent chromite and magnesite-chromite brick with 30-40 per cent chromite. Chromites are selected on the basis of chemistry, mineralogy and physical factors such as particle shape[8]. The silica, iron oxide, alumina and chromic oxide contents are important factors. Conventionally bonded brick relies on the silicate-to-chromite bonding. However, with higher service requirements direct-bonded brick is finding favour. The direct bond between chromite and periclase is achieved only with low silica content (2 per cent SiO_2). Therefore, the quality demands for chromite have increased.

Chrome refractories are marketed in several forms, the most common being moulded bricks and shapes. Other forms include refractory mortars, cements and plastics. These products find use in the linings of both ferrous and nonferrous metallurgical furnaces, as well as in glass melting furnaces and cement kilns.

In the past two decades, chromite sand has been used increasingly in moulds for heavy steel castings. Its refractory properties and heat capacity provide performance superior to that of silica sand, and the cost is lower than that of zircon sand.

Conclusions from Part I

Six main groups of chromium products are used by industry: chromite, chromium metal, ferrochromium, other chromium-bearing alloys, chromium chemicals and chromium refractories.

Traditionally, chromite was subdivided, according to various criteria, into metallurgical, refractory, chemical and foundry categories.

In the case of chromites used to make ferrochromium, the introduction of the argon-oxygen decarburization (AOD) technique for steelmaking has largely dissolved the barriers between the metallurgical and chemical grades and made it possible to use lower-grade high-iron chromites, previously virtually limited to the production of chromium-based chemicals, in making ferrochromium.

Chromium metal is used as an additive. Its principal applications are:

i) in making superalloys and

ii) in providing the extra chromium needed to enable stainless steel makers to use less-expensive ferrochromium and still meet the chromium content requirements specified for their products.

Ferrochromium is a general term applied to a number of iron-chromium-bearing masteralloys essential to the manufacture of high-alloy and stainless steels. Other chromium-bearing alloys have special uses in fields where heat resistance, corrosion resistance and high temperature strength are required.

Chromium chemicals, produced from chromite, are raw materials for chromium plating and are used for pigments and tanning agents as well.

Chromite refractories have long found use in ferrous and nonferrous furnaces, cement kilns and foundries. The proportion of chromite used in a refractory brick has, however, been undergoing considerable change in recent years, which has led to a decline in the overall consumption of chromite in refractories.

REFERENCES

[1] M. Anthony, P.E. Johnson and D.A. Langford, "The Manufacture and Uses of Chromium Metals." Paper presented at the Institution of Mining and Metallurgy Open Day on Chromium, December 1979.

[2] J.L. Morning, N.A. Matthews and E.C. Peterson, "Chromium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines Preprint from Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, 16 p.

[3] H. Tuovinen, J. Relander, and M. Honkaniemi, "The Influence of Charge Quality in Charge Chrome Smelting", American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Iron and Steel Society, 36th Electric Furnace Conference Proceedings, (1978), Vol. 36, p. 127-133.

[4] Ibid., p. 21.

[5] M.J. Udy, "Chromium: Volume 1, Chemistry of Chromium and Its Compounds," 1956, p. 327-388.

[6] Ibid.

[7] A.J. Owen, "Refractories", Industrial Minerals, No. 137, Feb. 1975, p. 43-57.

[8] M. Peatfield, and D.R.F. Spencer, "Chromite Usage in Refractory Brick Production", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 89, Part C, Dec. 1980, p. C173-C179.

PART II. PRINCIPAL CANADIAN USES OF CHROMIUM SUB-PRODUCTS

Chromite

Chromite is used by four Canadian companies, Canadian Refractories Division of Dresser Canada, Inc., Didier Refractories Corporation, General Refractories Co. of Canada Ltd., and Kaiser Refractories Company Division of Kaiser Aluminum & Chemical of Canada Limited, to make various refractory products such as bricks, mortars and ramming mixtures.

Prior to 1974, chromite was used by Union Carbide Canada Limited to make the ferrochromium which the company produced at its plant in Welland, Ontario.

Consumption figures for selected years between 1970 and 1980 are given in Table 4.

Chromium Metal

In Canada, chromium metal is used primarily as an alloying element in the production of high-alloy steels and nickel- and cobalt-based alloys where a high-chromium additive is essential. Stainless steel casting companies use relatively minor amounts of chromium metal on an irregular basis, as do producers of chromium-bearing copper alloy castings, chromium-bearing aluminum-magnesium and aluminum-magnesium-silicon alloys, hard-facing materials and abrasion-resistant castings.

Ferrochromium

Three grades of ferrochromium are consumed in Canada: charge, high-carbon and low-carbon. Overall consumption figures are given in Table 4 and depicted in Figure 1.

Atlas Steels Division of Rio Algom Limited of Welland, Ontario, (the principal Canadian manufacturer of stainless steel) is by far the largest domestic consumer of ferrochromium. This company uses mainly charge chrome and high-carbon

Table 4

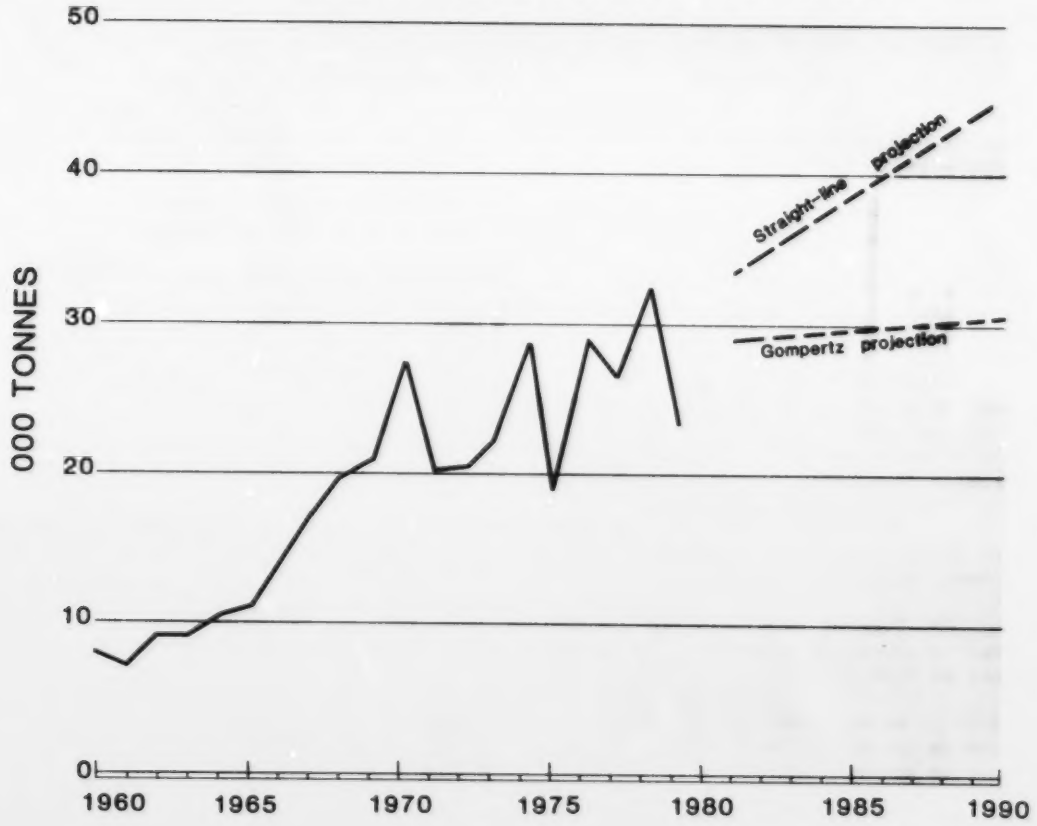
Canada, Chromium Consumption, 1970, 1975-80

	Consumption[1]	
	Chromite	Ferrochromium
	(tonnes)	
1970	56 212	28 356
1975	36 790	18 417
1976	30 783	32 177
1977	30 299	28 435
1978	27 472	36 572
1979	27 205	25 729
1980	27 900	..

Sources: Energy, Mines and Resources Canada; Statistics Canada.

[1] Gross weight.
.. Not available.

CANADA, CONSUMPTION OF FERROCHROMIUM, 1960–79, AND PROJECTIONS TO 1990



Note: 1980 estimate included for projections

ferrochromium as the initial additions to its melt, the low-carbon ferrochromium being used as a final additive. It also obtains a relatively minor proportion of the chromium units it currently requires from purchased stainless steel scrap. Atlas produces a wide range of stainless steels containing from 12-27 per cent chromium, as well as tool steels (including machinery, mining and special purpose steels) containing up to 5 per cent chromium. Manufacturers of cast iron and other foundry products use both high-carbon and low-carbon ferrochromium in their operations. Deloro Stellite Canada Limited uses both high-carbon and low-carbon ferrochromium to produce superalloy castings.

Other Chromium-Bearing Alloys

Burnstein Castings Ltd. of St. Catharines, Ontario, and other foundries use small amounts of copper-chromium masteralloy to produce copper alloy castings containing chromium.

A copper-chromium alloy containing less than 1 per cent chromium finds uses in electrical applications where high strength is required. Another copper alloy with 30 per cent nickel and up to 3 per cent chromium finds applications in marine equipment where corrosion resistance is needed.

Manufacturers, particularly of transportation equipment, use chromium-bearing aluminum-magnesium and aluminum-magnesium-silicon alloys. High-strength chromium-containing alloys in the form of plate or extrusions are used by the Canadian aircraft industry, as is chromium-containing titanium alloy in similar forms. The latter material is also used by turbine makers.

Hard-facing materials and abrasive-resistant chromium-containing castings produced by Deloro Stellite are used in mining and agricultural equipment.

Chromium Chemicals

The Canadian leather industry uses chromium chemicals as tanning agents. Most Canadian tanning operations hold about one week's supply of sodium dichromate or basic chromium sulphate.

Pigment manufacturers use sodium dichromate in the production of a wide range of chromium pigments. In general, most companies hold a two- to four-week stock of feed material.

Minor amounts of other chromium chemicals such as chromic acid and chromium oxide are used by the domestic plating industry as well as for producing tin-free steel.

Chromium Refractories

Refractories combining chromite and magnesite in various proportions are used by the domestic iron and steel, portland cement, glass, and nonferrous metals industries.

The iron and steel industry, which uses chromium-based refractories to line open-hearth furnaces around the slag line, is the single most important consumer of chromium-bearing refractories.

Canadian foundries consume significant amounts of chromite sands.

Conclusions from Part II

Imported chromite is used by the Canadian Refractories Division of Dresser Canada, Inc., Didier Refractories Corporation, General Refractories Co. of Canada Ltd., and Kaiser Refractories Company Division of Kaiser Aluminum & Chemical of Canada Limited to make refractory products. Small amounts of imported chromium metal are used in the manufacture of both stainless and specialty steels.

Imported ferrochromium is critical to the production of stainless steels and in the manufacture of cast iron and other foundry products. Deloro Stellite uses it to make superalloys.

A relatively minor proportion of the chromium units currently consumed by Canadian steelmakers is obtained from the chromium content of purchased stainless steel scrap.

Small amounts of imported nonferrous chromium masteralloys are used to make copper alloy castings containing chromium, in electrical fixtures, marine equipment, the aerospace industry and for hard facings in mining and agricultural equipment.

Certain chromium chemicals are imported for use in the tanning industry, pigment manufacture, plating and the production of tin-free steel.

Chromium-bearing refractories made in Canada from imported chromite, foundry sands, and small amounts of imported chromium refractories and bricks are used by the Canadian iron and steel, portland cement, glass and nonferrous metal industries.

Ferrochromium is considered to be by far the most critical of these materials to the national economy. In comparison, chromite for the manufacture of refractory materials, chromium chemicals, chromium metal and other chromium-bearing alloys, are marginally critical on a national scale.

PART III. CANADA'S SOURCES OF CHROMIUM SUB-PRODUCTS

A. Domestic

Chromite

No chromite is currently produced in Canada. The last production was in 1949, when small deposits were mined in the Eastern Townships of Quebec.

Chromium Metal

There are no chromium metal production facilities in Canada.

Ferrochromium

No ferrochromium is now produced in Canada. Between 1938 and 1974 Union Carbide Canada Limited produced both high-carbon and low-carbon ferrochromium at its plant in Welland, Ontario. The furnace used to make this product has been dismantled and various parts have been sold. The last stocks of domestic ferrochromium were shipped in 1975.

Some of the chromium units required by Canadian steelmakers are obtained from purchased stainless steel scrap collected by Canadian merchants.

Other Chromium-Bearing Alloys

High-strength chromium-bearing aluminum-zinc alloys (7000 series) are occasionally produced by Aluminum Company of Canada, Limited (Alcan) in Canada. This company can also produce chromium-containing aluminum alloys of the magnesium and magnesium-silicon series.

No companies in Canada are known to be producing any nonferrous chromium-bearing masteralloys or chromium-titanium alloys.

Chromium Chemicals

No sodium dichromate is now being made in Canada. The large tanning companies import sodium dichromate which is reduced to the basic chromium sulphate that is used in their tanning processes but is not sold to other consumers. Secondary chromium chemicals such as chromic oxide, chromic acid, and basic chromium sulphates may be produced in Canada in the course of the manufacture of further-processed products.

Chromium Refractories

Four Canadian companies, Canadian Refractories Division, of Dresser Canada, Inc., Didier Refractories Corporation, General Refractories Co. of Canada Ltd. and Kaiser Refractories Company Division of Kaiser Aluminum & Chemical of Canada Limited, produce chromium-bearing refractory shapes and gunning mixtures. Magnesite-chromite refractories are the most common chromium-bearing products produced; in addition, some of the companies are also capable of producing - to special order - chromite-magnesite and pure chromite products.

B. Foreign

Table 5 shows the amounts of chromium sub-products that are reported to be imported into Canada. Canadian customs tariffs applicable to various chromium materials are given in Appendix 4.

Chromite

Imported ores and concentrates are used by the two domestic producers of chromite-bearing refractories. In 1980, more than 95 per cent (by weight) of Canadian imports came from four countries: Mozambique (33 per cent); United States (27 per cent); Philippines (21 per cent); and Albania (17 per cent). However, since neither Mozambique nor the United States produces any chromite, it is probable that at least 33 per cent of Canadian chromite imports originated in South Africa. These imports could not have originated in Zimbabwe; Zimbabwean chromite is not used in Canada for refractories.

The provenance of Canadian chromite imports has varied from year-to-year. In 1977, for example, the most important source was Finland. Chromite imported from the United States originates in other countries, changing from year-to-year as well.

The Canadian Refractories Division of Dresser Canada, Inc. purchases chromite ore on a regular basis from several suppliers. The General Refractories Co. makes joint chromite ore purchases with other North American refractory companies for shipments to be delivered to the United States. The ore is unloaded in that country and subsequently sent to Canada by rail. Kaiser Refractories Company obtains its raw materials from its parent company in the United States. Didier imports refractory-grade materials direct from overseas.

The levels of stocks held in Canada vary from company to company. Some companies add to existing stocks on a regular basis; others obtain their annual requirements in single shipments which are then depleted over the year. In general, the industry as a whole may be said to have two to three months' consumption requirements on hand.

Based on the average amount of chromite imported in the years 1979, 1980 and 1981 and the average cost per t of imports in 1981, the cost of acquiring a stockpile of a size equal to six months' imports is estimated to be $3,500,000.

Chromium Metal

Nearly all of the chromium metal consumed in Canada was produced either in the United Kingdom (mostly "aluminothermic") or in the United States ("electrolytic"). Because of the metal's relatively high cost, consumers do not maintain large stocks. Deloro Stellite Canada Limited, the largest domestic consumer of chromium metal, keeps about two or three months' supply on hand.

Metallurg (Canada) Ltd. and Union Carbide Canada Limited, maintain only minimal stocks of chromium metal in Canada, because of high carrying costs. However, these companies can obtain fairly rapid deliveries from their own chromium metal production plants. The Metallurg group has plants in the United States and the United Kingdom; the Union Carbide Corporation has production units in the United States.

Ferrochromium

Imports account for all of the ferrochromium consumed in Canada. Metal merchants such as Philipp Brothers (Canada) Ltd. and the marketing divisions of ferrochromium producers such as Union Carbide Canada Limited, Chromasco Limited and Metallurg (Canada) Ltd. handle all imports of ferrochromium.

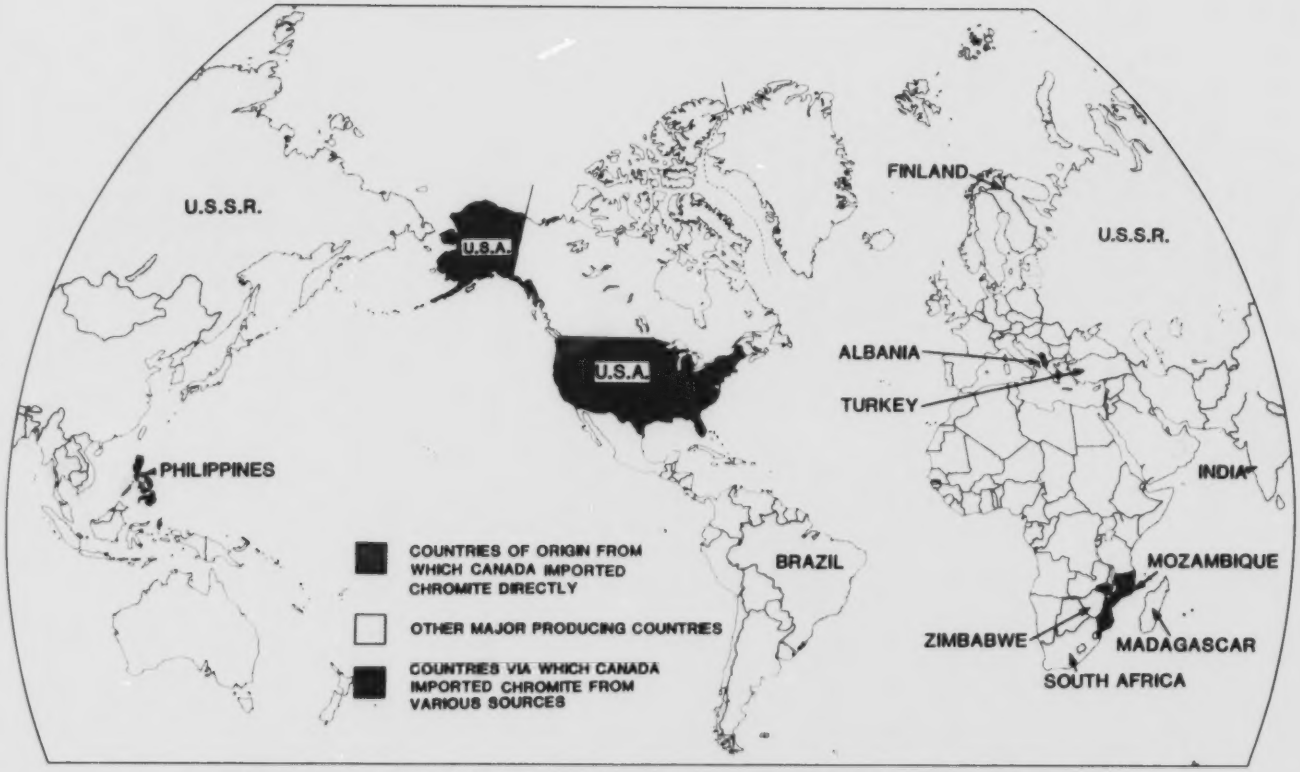
Table 5

Canada, Chromium Imports, 1979 and 1980

	1979		1980P	
	(tonnes)	($000)	(tonnes)	($000)
Imports				
Chromium in ores and concentrates				
United States	11 122	2,326	7 769	2,839
Philippines	3 865	1,296	5 970	2,087
Mozambique	9 166	1,404	9 288	1,685
Albania	-	-	4 720	747
Other countries[1]	3 220	886	626	234
Total	27 373	5,912	28 373	7,592
Ferrochromium				
United States	12 707	9,663	10 515	9,752
South Africa	15 923	7,121	19 836	9,713
Brazil	4 350	1,786	7 600	4,165
Other countries[2]	1 740	1,941	3 418	3,586
Total	34 720	20,511	41 369	27,216
Chromium sulphates, including basic				
United States	1 379	932	1 477	1,222
United Kingdom	186	149	231	257
West Germany	39	33	61	68
Poland	36	24	-	-
Italy	-	-	18	17
Total	1 640	1,138	1 787	1,564
Chromium oxides and hydroxides				
United States	1 780	3,916	1 624	4,038
United Kingdom	75	181	57	219
Italy	-	-	33	79
West Germany	53	160	2	10
Total	1 908	4,257	1 716	4,346
Chromium dyestuffs				
West Germany	7	162	8	103
United States	9	76	9	84
Netherlands	9	45	3	38
Other countries[3]	15	60	16	95
Total	40	343	36	320

Source: Statistics Canada.

[1] Includes West Germany, The Netherlands, Greece, Sweden, Finland and Turkey. [2] Includes Norway, Sweden, and Yugoslavia. [3] Includes Italy, People's Republic of China, Poland, Switzerland, United Kingdom and Japan.
P Preliminary; - Nil.



PRINCIPAL PRODUCERS OF CHROMITE, 1980

In practice, it is these direct importers located in Canada who maintain stockpiles on which domestic consumers draw. The levels of stocks held in Canada by agents of foreign ferrochromium producers vary from company to company. It is estimated that they are, in general, of the order of two to three months' Canadian consumption.

Canadian consumers purchase their ferrochromium requirements from these intermediate sources according to a long-term contract, a blanket purchase agreement, or on a spot basis. Stockpiling practices vary from consumer to consumer depending on the quantity and quality of ferrochromium that is being used. In general, consumer stocks are kept to a minimum, of the order of one- to two-weeks' consumption.

Occasionally, some of the chromium units required by Canadian steelmakers are obtained from imported purchased stainless steel scrap.

Based on the average amount of ferrochromium imported in the years 1979, 1980 and 1981 and the average cost per t of imports of all grades in 1981, the cost of acquiring a stockpile of a size equal to six months' imports is estimated to be $14 million.

Other Chromium-Bearing Alloys

Most of the other chromium-bearing alloys used in Canada are imported in semi-finished or finished form.

The small amount of chromium-containing titanium alloy used in Canada is imported, primarily from the United States, as plate or forgings for use by aircraft and turbine manufacturers.

Similarly, all high-strength chromium-containing aluminum alloys for the aircraft industry are likely to be obtained from the United States as plate or extrusions.

Small amounts of chromium-bearing aluminum masteralloys are occasionally imported for the manufacture of certain grades of chromium-bearing aluminum alloys. Copper-chromium masteralloys are imported from the United States.

Prepared powders for hard-facing applications are imported by Deloro Stellite.

Chromium Chemicals

Most of Canada's requirements for chromium chemicals are imported. The United States, with three producers of chromium chemicals, Allied Corporation, Diamond Shamrock Corporation and Harrisons and Crosfield Ltd., is Canada's most important supplier of these products. Other countries, including the United Kingdom, West Germany, Italy, Norway, Sweden and Japan, have also supplied various chromium chemicals to Canadian consumers. Stocks of chromium chemicals held by consumers vary from one weeks' to six weeks' consumption.

Chromium Refractories

Imports account for only a very minor amount of the chrome firebricks used by Canadian consumers. The most recent statistics identify the United States as the sole foreign source of any chrome firebricks imported into Canada.

Conclusions from Part III

As is shown in Table 6, Canada is entirely dependent upon imports for all of its chromium sub-products, except for certain quantities of "purchased" stainless steel scrap, chromium refractories (themselves manufactured from imported chromites) and possibly some secondary chromium chemicals.

Canada obtains most of its chromite ores and concentrates from the Philippines (partly trans-shipped through the United States) and South Africa (partly trans-shipped through Mozambique and/or the United States).

The major source of its ferrochromium is South Africa. Raw materials used to manufacture ferrochromium, chromium metal, other chromium-bearing alloys and chromium chemicals made elsewhere and sent to Canada either from or via the United States may also have originated in southern Africa.

Industrial consumers of refractory-grade chromite, and ferrochromium suppliers located in Canada, generally maintain stocks equal to two- to three-months' consumption. Only minimal amounts of chromium metal are maintained in Canada. Stocks of chromium chemicals vary from one- to six-weeks' consumption.

Table 6

Principal Sources of Canada's Chromium Sub-Products

	Domestic	Foreign
A. Chromium ores and concentrates	Nil	Mozambique (mostly from South Africa) United States (approximately half, and half from the Philippines and South Africa Philippines Albania
B. Chromium Metal	Nil	United States, United Kingdom
C. Ferrochromium	Nil	South Africa, United States Brazil
(stainless steel scrap)	(as collected)	(United States)
D. Other Chromium-bearing Alloys	Certain Cu-Cr, and Cr-bearing Al-Mg and Al-Mg-Si alloys, and hard facing and abrasion-resistant castings	United States
E. Chromium Chemicals	No primary, possibly some secondary	United States, United Kingdom
F. Chromium Refractories	Almost all made in Canada from imported ores and concentrates	United States, United Kingdom

PART IV. WORLD SUPPLY CAPABILITY

Chromite

(i) World Reserves

Chromite is present as an accessory mineral in many ultramafic and mafic igneous rocks in amounts of as much as 1 or 2 per cent by weight. Chrome ores may contain 50 per cent or more chromite, the balance being a variety of chrome-poor silicate and oxide minerals (i.e. gangue minerals). Of equal importance to the chromite content of the ore are its physical properties, the composition of the contained chromite, and the ease with which the gangue may be removed by beneficiation techniques. Chromite ore deposits have traditionally been divided into two broad classes on the basis of geometry and geological setting: stratiform and podiform. This distinction is important from the economic as well as the geologic standpoint inasmuch as the two types of deposits differ in many characteristics such as size and grade, and ease of discovery, delineation and mining.

The stratiform deposits comprise semi-massive to massive "seams" of chromite in the lower zones of large, layered igneous intrusions. The chromite layers range from less than 1 cm to more than 1 m in thickness and have remarkable lateral continuity. For example, the Steelport seam in the Bushveld igneous complex of South Africa is from 0.9 to 1.2 m thick over a length of at least 65 km.

Only a few stratiform chromite deposits are currently being mined, but because of their immense size they account for more than 97 per cent of world reserves and for some 40 per cent of world production. The South African, Zimbabwean, Finnish and Brazilian reserves are of this type. With the notable exception of the Zimbabwean deposits, the stratiform chromite ores are of the high-iron variety. The ore reserves of the Bushveld complex exceed 2.2 billion t with average grades of 44 per cent Cr_2O_3 and Cr:Fe = 1.5.

Podiform chromite deposits are generally lenticular bodies of massive to heavily disseminated chromite that occur in ultramafic rocks of ophiolite sequences. Individual pods range from a few kg to several million t in size but there are only a very few in the world that are known to contain in excess of a million t of chromite. A podiform ore deposit normally comprises a number of discrete pods. For example, the Kavak mine in Turkey includes 21 individual orebodies totalling about 2 million t (past production plus reserves) of ore averaging 28 to 30 per cent Cr_2O_3.[1] The irregular and discontinuous nature of podiform ores makes exploration very difficult, and the calculation of ore reserves and resources very uncertain. Podiform chromites tend to be of the chrome-rich type with Cr:Fe ratios generally in excess of 2.5. High-alumina, refractory chromites are also derived from podiform deposits.

Alluvial and eluvial chromite deposits derived by the erosion of ultramafic rocks are of minor importance.

World reserves of chromite, as of January 1980, are shown in Table 7. These figures presumably represent exploitable material that is reasonably well known. According to the figures in Table 6, some 98 per cent of world reserves are located in South Africa and Zimbabwe. This may seem a surprisingly high percentage, given that only some 40 per cent of world production comes from this area. Southern Africa's reported reserves could sustain production at the current rate for more than 800 years. The explanation for these unusually large reserves is geological: the continuity of the main African deposits allows reasonably reliable reserve estimates to be made relatively easily and cheaply.

High-chromium chromites occur primarily in Albania, Turkey, U.S.S.R. and Zimbabwe, low-chromium ores in Brazil, Finland and South Africa. High-aluminum refractory grades (which represent only a small fraction of world reserves) are located primarily in Cuba and the Philippines.

Table 7

World Chromite Reserves[1,2]
(as of January, 1980)

	(000 tonnes shipping ore, gross weight)	(% of world total)
Albania	2 000	0.1
Brazil	2 000	0.1
Cuba	3 000	0.1
Finland	25 000	0.7
India	5 000	0.1
Iran	2 000	0.1
Madagascar	2 000	0.1
Philippines	3 000	0.1
South Africa	2 300 000	68.1
Turkey	5 000	0.1
U.S.S.R.	15 000	0.4
Zimbabwe	1 000 000	29.9
Other countries	2 000	0.1
World total	3 332 000	100.0

Source: J.L. Morning, N.A. Matthews and E.C. Peterson "Chromium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines, Preprint from Bulletin 671, p. 5.

[1] Derived in consultation with the U.S. Geological Survey. [2] Rounded.

(ii) Current World Supply Capability

Estimated world chromite production capacity is given in Table 8. As can be seen from this table, 31.6 per cent of world production capability is located in non-market-economy countries. A further 40.8 per cent is based in southern Africa.

(iii) World Output in Recent Years

The principal world producers of chromite are listed in Table 9; producing countries are shown in Figure 2. Country by country reviews are given in Appendix 5 and output statistics for recent years are presented in Table 10.

Between 1960 and 1980, major shifts occurred in the relative standings of chromite-producing countries. During that period the percentage of world output accounted for by South Africa rose from 17.4 to 35.1 per cent. Among other producers whose significance increased were Albania, Brazil and Finland.

Declines were noted in the relative world standings of the Philippines (16.6 to 5.9 per cent); Turkey (10.9 to 4.1 per cent) and Zimbabwe (13.7 to 5.7 per cent).

(iv) Planned Additions to Production Capacity

Planned additions to world chromite production capacity are given in Table 11. Most are in producer countries and destined to provide raw materials for local ferrochromium plants currently under construction (Table 14).

Table 8

Nominal Chromite Production Capacity

Country	Capacity (1981) (tonnes per year)	(%)
Albania	1 000 000	8.3
Finland	400 000	3.3
India	500 000	4.2
Philippines	540 000	4.5
South Africa	4 000 000	33.3
Turkey	700 000	5.8
U.S.S.R.	2 800 000	23.3
Zimbabwe	900 000	7.5
Other countries[1]	1 160 000	9.8
World total	12 000 000	100.0

Source: Staff, "Chromium: Abundance Askew", (A Review of the International Iron and Steel Institute's report entitled "Chromium and the Steel Industry"), Mining Journal, Vol. 297, No. 7629, Nov. 6, 1981, p. 361.

[1] e.g. Brazil, Iran and Madagascar.

Table 9

Principal World Chromite Producers

Country	Company
Albania	Government-owned
Brazil	Cia. de Ferro Ligas da Bahia SA (Ferbasa)
Colombia	Cromitas Ltda
Cyprus	Hellenic Mining Co. Ltd.
Finland	Outokumpu Oy (Government-owned)
Greece	Financial-Mining Industrial & Shipping Corporation
India	Orissa Mining Corp. Ltd.
Iran	Esfandaqeh Mining Co. Faryab Co.
Japan	Hirose Kogyo KK Nihon Chrome Kogyo KK
Madagascar	Kraoma-Kraomita Malagasy
Pakistan	H.M. Habibullah Company Pakistan Chrome Mines Ltd.

Table. 9 (cont'd)

Country	Company
Philippines	Acoje Mining Co. Inc. (Herdis Group Inc. of Manila and Voëst-Alpine AG of Austria)
	Consolidated Mines Inc. (Benguet Corporation, manager)
	Golden Arrow Mining Co., Inc.
	Trident Mining & Industrial Corporation
Republic of South Africa	Chrome Mines of South Africa Ltd., (subsidiary of General Mining Union Corp. Ltd.)
	Lavino South Africa Pty. Ltd. (International Mineral & Chemical Corp. group, U.S.A.)
	Marble, Lime and Associated Industries Ltd. (subsidiary of General Mining Union Corp. Ltd.)
	Montrose Exploration Co. (South Africa) (Pty.) Ltd. (subsidiary of General Mining Union Corp. Ltd.)
	S.A. Manganese Amcor Ltd. (Samancor)
	Transvaal Consolidated Land & Exploration Co. Ltd. (subsidiary of Barlow Rand Limited)
	Ucar Chrome Co. (S.A.) (Pty.) Ltd., (subsidiary of Union Carbide Corporation, U.S.A.)
Sudan	Ingessana Hills Mines Corp. (Government-owned)
Turkey	Bilgin Maden Ltd.
	Egemetal Madencilik A.S. (associate of Metallgesellschaft AG., W. Germany)
	Etibank General Management
	Fethiye Maden
	Sitki Koeman
	Turk Maadin Sirketi A.S. (subsidiary of Metallurg Inc., U.S.)
U.S.S.R.	Government-owned
Zimbabwe	Rhodall Limited (Anglo-American Group, South Africa)
	Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd. (Union Carbide Corporation Group, U.S.)

Sources: U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, Volumes I "Metals and Minerals" and III "Area Reports - International". D.L. Buchanan, "Chromite Production from the Bushveld Complex", World Mining, September 1979, Vol. 32, No. 10, p. 98. E. Shekarchi, G. Morgan, P. Clarke and S. Ambrosio, "Zimbabwe", U.S. Bureau of Mines, MP Mineral Perspectives, 1981, p. 16-19.

Ferrochromium

(i) World Capacity and Output in Recent Years

World ferrochrome capacity is reported to be 3 099 000 tpy of alloy, 80 per cent of which is used to produce charge and high-carbon ferrochrome.[2]

World ferrochrome producers are listed in Table 12 and in Figure 3. Notes on producing countries are given in Appendix 6; figures for reported ferrochromium output in the years 1977 to 1980 are presented in Tables 13 (ferrochromium) and 16 (ferrochromium-silicor).

Table 10

World Production of Chromite, by Country, Selected Years from 1960 to 1980

	1960	1970	1978	1979P	1980e
			(000 tonnes)		
Albania	289	468	989[1]	1 016[1]	1 080
Brazil	5	27	269	340	349
Cuba	30[2]	..	29	28	32
Cyprus	15[3]	34	15	15	16
Finland	0	121	178	177	175
Greece	35	26	40e[4]	54[4]	62
India	100	271	266	309	319
Iran	68	200e	198e	136	82
Japan	67	33	9	12	14
Malagasy Republic	..	131[2]	138	128	150
New Caledonia	39	..	8	13	13
Pakistan	18	29	11	3	3
Philippines	735	566	537	561	572
South Africa	772	1 427	3 144	3 297[5]	3 415
Sudan		47	18	28	25
Turkey	482	519	376	454[6]	399
U.S.A.	97[7]	0	0	0	0
U.S.S.R.	916e	1 750e	2 313	2 404	2 449
Vietnam	19	..	13	14	15
Yugoslavia	101	41	2e	0	0
Zimbabwe	606	363	478e	542	554
Other countries[e]	38	..	6	5	5
World total	4 432e	6 053e	9 037e	9 536	9 729

Sources: U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, Volume I: 1964, p. 356; 1972, p. 296; and E.C. Peterson, "Chromium: Preprint from the 1980, U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook", p. 11 and 12.

[1] Crude ore output, not marketable production. [2] United States imports. [3] Exports. [4] Exports of direct-shipping ore plus production of concentrates. [5] Reported figure. [6] Estimated production of marketable product (direct shipping ore plus concentrates) based on production of run-of-mine ore. [7] Excludes quantity consumed by American Chrome Co.
P Preliminary; e Estimated; .. Not available.

Six countries: Japan, South Africa, Sweden, the United States, U.S.S.R. and Zimbabwe, are estimated to have accounted for some 78 per cent of world output in 1980. A notable feature of the world scene has been the steady increase in the proportion of world ferrochromium output accounted for by South Africa 10.4 per cent in 1974, 19.2 per cent estimated in 1980 - largely at the expense of Japan 29.1 per cent in 1974, 14.5 per cent estimated in 1980 and the U.S.A. 16.4 per cent in 1974 and 7.4 per cent estimated in 1980. Important factors behind these changes are considered to be the favourable energy cost situation in South Africa due to the proximity of its chromium deposits to coal-fired power plants, and the introduction of environmental regulations in the United States. An overriding factor has been the introduction of the AOD process permitting the use of high-carbon ferrochromium in stainless steel manufacturing and thus the use of relatively lower-grade South African ores.

Table 11

Planned Additions to World Chromite Production Capacity

Country and Company	Location	Comments
Greece		
Hellenic Ferroalloys SA	Xeralivado mine	Mine expansion to 50 000 tpy plus.[1]
India		
Ferro Alloys Corporation Ltd.[2]	Boula, Orissa	Mine expansion plus 480 tpd beneficiation plant.
New Caledonia		
Inco Metals Company[3]/Banque de Paris et des Pays Bas/Dong-Trieu consortium	Tiebaghi	Approximately 85 000 tpy of chromite by 1982.
Philippines		
Acoje Mining Co. Inc.[4]		Mine-mill expansion to increase production to 108 000 tpy by 1982.
Consolidated Mines Inc./ Benguet Corporation		Zambales Province new mine.[5]
Philchrome Mining Corporation[6]	Palawan Island	20 000 tpy of refractory-grade material from sand deposits. (AMAX Inc. of U.S. and Kawasaki Steel Corporation of Japan to purchase 15% interest).
South Africa		
General Mining Union Corp. Ltd. (Gencor)[7]	Tweefontein, Transvaal	408 000 tpy to replace output from former Zwartkop operation and Kroondal mine.
Zimbabwe		
Zimbabwe Mining & Smelting Co. Co. (Pvt.) Ltd.[8] (Union Carbide Corporation group)	Selukwe, Mtoroshanga mines	Expansion of chrome ore production from 325 000 tpy to 450 000 tpy.

[1] A.G. Thomson, "Chromite", in Mining Annual Review 1981, p. 79. [2] Staff, "Chromite and Expansion", Mining Journal, Vol. 296, No. 7591, Feb. 13, 1981, p. 115. [3] Staff, "Inco Limited to develop Tiebaghi chromite", Metal Bulletin, No. 6554, Jan. 9, 1981, p. 21. [4] Staff, "Voëst-Alpine AG FeCr for 1982?", Metal Bulletin, Nov. 18, 1980, p. 26. [5] Thomson, Ibid. [6] Staff, "Sand Chrome Project", Mining Journal, Vol. 296, No. 7591, Feb. 13, 1981, p. 113. [7] Staff, "Tweefontein Startup Outlined", Metal Bulletin, No. 6576, Mar. 27, 1981, p. 19. [8] Staff, "Zimbabwe Chrome Ore Expansion", Mining Journal, Vol. 296, No. 7596, Mar. 20, 1981, p. 218.

Table 12

Major World Ferrochromium Production Plants, Estimated Capacity

Country	Company and Plant Location	Charge Chromium	High-Carbon Ferro-chromium	Medium-Carbon Ferrochromium	Low-Carbon Ferro-chromium	Chrome Ferro-silicon	All Grades (n.e.s.)
		(tonnes per year)					
Brazil	FERBASA - Cia de Ferro Ligas da Bahia SA, Pojuca, Bahia	82 000	-	-	11 000	-	
Finland	Outokumpu Oy, Tornio	45 000	-	-	-	-	
France	SOFREM - Société Française d'Electrométallurgie Paris (Pechiney Ugine Kuhlmann group)	-	-	-	-	2 000	
India	Ferro-Alloys Corporation Ltd., Shreeramnagar, Srikakulam District, Andhra Pradesh	9 000	-	-	5 000	1 000	
	Visvesvaraya Iron & Steel Ltd., Bhadravati, Karnataka	*	*	*	*	-	1 000
Italy	Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck, Novate Mezzola	-	-	-	14 000	-	
	Montedison SpA, Carrara, Avenza	-	36 000 (incl. charge)	-	-		
Japan	Awamura Metal Industry Co. Ltd., Uji City, Kyoto	-	65 000	-	-	5 000	
	Japan Metals & Chemicals Co. Ltd., Tokyo	-	134 000	-	39 000	22 000	
	Nippon Denko KK, Hokuriko	-	54 000	-			
	NKK-Nippon Kokan KK, Tokyo	-		-	1 000	23 000	

	Pacific Metals Co. Ltd., Tokyo	-		-	-	-	
	Showa Denko KK, Chichibu Works and Shunan Denko KK	157 000	-	-	57 000	24 000	
Mexico	Cláa Minera Autlan SA de CV, Tezuitlan plant	-	-	-	5 000	-	
Norway	A/S Bjolvefossen, Norheimsund	-	18 000	16 000	-	-	
Philippines	Ferro-Chemicals Inc., Caloogan City	-	*	*	*	-	2 000
South Africa	Feralloys Ltd., Machadodorp	-	27 000	-	9 000	36 000	
	Ferrometals Ltd., Witbank, (S.A. Manganese Amcor Ltd.) Samancor	245 000					
	Johannesburg Consolidated Investment Co. Ltd. (Anglo American Corporation group), Lydenburg	109 000	-	-	-	-	
	Palmiet Chrome Corp. (Pty) Ltd., Krugersdorp (Barlow Rand group)	9 000	-	-	-	14 000	
	RMB Alloys (Pty) Ltd., Middleburg (Barlow Rand group)	18 000	-	-	-	-	
	Tubatse Ferrochrome (Pty) Ltd., Steelpoort, Transvaal (General Mining & Finance Corp. Ltd., Union Carbide Corporation (U.S.) group)	109 000	-	-	-	-	
Spain	Ferroaleaciones Y Electrometales SA Boo, Santander	-	-	-	9 000	-	
	Ferroaleaciones Españolas SA, Medina des Campo, Valladolid (Cia Industrial y de Abastecimientos SA)	-	25 000	-	-	-	

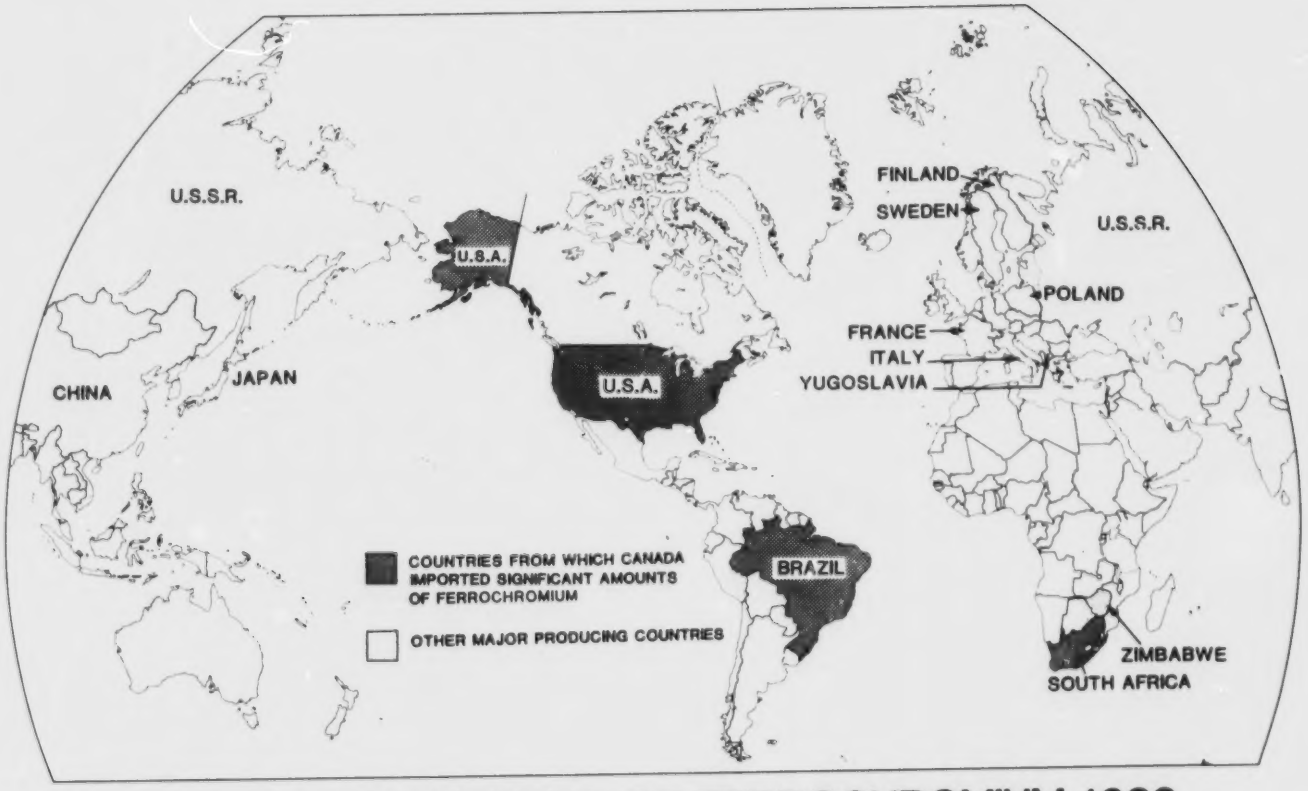
Table 12. (cont'd)

Country	Company and Plant Location	Charge Chromium	High-Carbon Ferro-chromium	Medium-Carbon Ferrochromium	Low-Carbon Ferro-chromium	Chrome Ferro-silicon	All Grades (n.e.s.)
				(tonnes)			
Sweden	Airco Alloys AB, Vargön (Macalloy group)	-	160 000	-	-	18 000	
	Ferrolegeringar Trollhätteverken AB, Trollhätten (Metallurg Inc. group)	-	54 000	-	30 000	30 000	
Turkey	Etibank General Management, Antalaya and Elazig-Gulusgur	-	45 000	-	14 000	-	
United States	Chromium Mining & Smelting Corp., Woodstock, Tennessee (Chromasco Limited subsidiary)	-	27 000	-	-	-	
	Elkem Metals Co. (Elkem A/S group) Alloy, West Virginia; Marietta, Ohio and Niagara Falls, New York	*	*	*	*	*	
	Globe Metallurgical Division, Interlake, Inc., Beverly, Ohio, (Interlake, Inc. group)	-	*	*	*	*	54 000
	Macalloy Corporation (Macmetal Corporation and Satra Corporation) Charleston, South Carolina	-	60 000	-	-	27 000	
	Namco Inc. - North American Metallurgical Corp., Camden, New Jersey	-	*	*	*	-	
	Satralloy Inc., Steubenville, Ohio (Satra Corporation)	-	33 000	-	33 000	21 000	
	Tenn-Tex Alloy Corp., Houston, Texas	-	*	*	*	-	27 000

West Germany	Elektrowerk Weisweiler GmbH, Eschweiler-Weisweiler (Gesellschaft für Elektrometallurgie mbH group)	*	*	*	*	32 000	180 000 (incl. charges)
Yugoslavia	Dalmacija, Dugi Rat, Split	-	27 000	-	-	-	
	Jugohrom HEK, Skopje.	-	27 000	-	9 000	-	
	Tovarna dusika Ruse, Ruse	-	7 000	-	5 000	5 000	
Zimbabwe	Rhodall Limited (Anglo American Corp. group), Gwelo	-	47 500	-	29 000	36 500	
	Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd., (Union Carbide Corp. group), Que Que.	-	-	-	-	-	90 000

Sources: J. Parry (ed.) Ferro Alloys: A World Survey, Table 5 - Ferrochrome plants in Zimbabwe, Shekarchi, Morgan, Clarke and Ambrosio, op. cit., p. 20.

* Capacities not known.
- Nil.



PRINCIPAL PRODUCERS OF FERROCHROMIUM, 1980

Table 13

Production of Ferrochromium[1], by Country, 1977-80

	1977	1978	1979P	1980e
		(tonnes)		
Brazil	66 224	62 596	84 368	93 440[2]
China[e]	72 575	90 718	90 718	90 718
Czechoslovakia[e]	29 937	29 937	28 123	27 216
East Germany[e]	23 587	25 401	20 865	19 958
Finland	33 566	44 452	48 988	49 895
France[3]	101 605	92 533	95 255	86 183[2]
India	18 144	21 772	22 680	16 329[2]
Italy	39 916	37 195	42 638	40 823
Japan	399 161	273 970	381 925	427 284[2]
Mexico	2 722	4 536	4 536	3 629
Norway	22 680	15 422	11 793	11 793[2]
Poland[e]	49 895	49 895	49 895	48 081
South Africa	380 110	479 901	555 197	565 176
Sweden	134 263	166 015	189 602	188 694
Turkey[e]	34 473[e]	39 916[e]	29 937[e]	32 659
U.S.S.R.[4e]	635 029[e]	662 245	689 460[e]	698 532
United States	196 859	176 901	244 033	216 817[2,5]
West Germany[e]	55 338	49 895	59 874	59 874
Yugoslavia	36 287	51 710	65 317	64 410
Zimbabwe[e]	199 581	199 581	199 581	199 581
Other countries	16 330	13 330	19 958	19 052
Grand total[6]	2 548 282	2 588 200	2 934 743	2 960 144[5]

Source: F.J. Schottman, "Ferroalloys: Preprint," 1980 U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 9-14.

[1] Table includes data available through June 21, 1981. [2] Reported figure. [3] Includes ferrochromium-silicon, if any was produced. [4] Soviet production of electric furnace ferroalloys is not reported; estimates provided are based on crude source material production and availability for consumption (including estimates), and upon reported ferroalloy trade, including data from trading partner countries. [5] United States output of ferrochromium-silicon included with ferrochromium in order to conceal corporate proprietary information. [6] Ferrochromium-silicon for France included with ferrochromium.
P Preliminary; [e] Estimated.

(ii) Planned Additions to World Capacity

Ferrochromium "capacity utilization rates...for 1980/81 production...may well [have been]"[2] near 70 per cent. However, despite the current world over-capacity situation, a few chromite-producing countries are planning to increase their production capabilities (Table 14). In the short-term, "the freer availability of material from Zimbabwe [is] expected to aggravate the market"[3] situation.

At least one expert expects that in the longer run the closure of sometimes old-fashioned production plants in major industrialized nations (and a consequent shift in sources of supply to South Africa and various developing chromite producer countries) will continue "until the major ferrochromium-consuming nations have reduced their own production to a certain determined strategic minimum."[4]

Table 14

Planned Additions to World Ferrochromium Production Capacity

Country and Company	Location	Comments
Greece		
Hellenic Ferroalloys SA[1] (subsidiary of state-owned Hellenic Industrial Mining & Investment Company)	Tsigelli, Almiros, near Volos	30 000 tpy (approximately ferrochromium plant.
India		
Ferro-Alloys Corporation Ltd.[2] (FACOR)	Randia, Balasore District, Orissa	45 mVA, 50 000 tpy (approximately). Charge chrome plant by December 1982.
Indian Metals & Ferro Alloys Ltd.		50 000 tpy of charge chrome under consideration by Indian government.[3]
OMC Alloys[2,4] (joint venture of state-owned Orissa Mining Corporation Ltd. [OMC], Voëst-Alpine AG of Austria and Outokumpu Oy, of Finland)	Bamnipal, Keonjhar District, Orissa	50 000 tpy (approximately). Charge chrome plant to start operation in 1983. Output to be exported.
Philippines		
Ferrochrome Philippines Inc.[5] (joint venture of the Herdis Group, Inc., Philippines and Voëst-Alpine AG of Austria)	Cagayan de Oro, Mindanao Island	45 000 tpy charge chrome plant, by 1982; using Outokumpu smelting technology.
Turkey		
Etibank General Management[6] (state-owned)	Elazig	Capacity of existing ferrochromium plant to be tripled to 150 000 t by 1984. Engineering by Elkem A/S of Norway, process technology by Outokumpu Oy of Finland.[7]
Zimbabwe		
Zimbabwe Mining & Smelting Co.[8] (Union Carbide Corporation)	Que Que	Two new 28 mVA furnaces to come on-stream by 1982; output to be increased from some 123 000 to 190 000 tpy.
Rhodall Limited[9] (Anglo American Corporation)	Gwelo	A second 28 mVA furnace to double ferrochrome production. Plan abandoned in April 1981 due to increased production costs and higher wages.[8]

[1] Staff, "Greek FeCr Project Progressing", Metal Bulletin, No. 6539, November 11, 1980, p. 25. [2] Staff, "New FeCr plants in Asia", Metal Bulletin, No. 6609, July 28, 1981, p. 17. [3] M. Vinayak, "Charge Chrome Projects Underway in India", American Metal Market, Vol. 89, No. 243, December 17, 1981, p. 17 and 20. [4] Madras Correspondent "New FeCr plant in Orissa", Metal Bulletin, No. 6526, Sept. 26, 1980, p. 25. [5] Staff, "Outokumpu Cr Plant for Philippines?" Metal Bulletin, No. 6556, Jan. 16, 1981, p. 19. [6] Staff, "Ores, Ferroalloys", Metal Bulletin, No. 6540, Nov. 14, 1980, p. 26. [7] Staff, "Turkey", Mining Annual Review 1981, p. 527. [8] Staff, "Zimbabwe FeCr Still Expanding", Metal Bulletin, No. 6533, Oct. 21, 1980, p. 25. [9] Staff, "Chrome Plans Abandoned", Mining Journal, Vol. 296, No. 7901, Apr. 24, 1981, p. 318.

Table 15

World Metallic Chromium Production Capacity as of September, 1977

Country	Company and Location	Annual Capacity (country totals)
A. Aluminothermic Process		
France	Les Aciéries de Gennevilliers (Éts. C. Delachaux), Gennevilliers	
	Sofrem - Société Française d'Electrométallurgie (Pechiney Ugine Kuhlmann group), Paris[1]	700
Japan	Nippon Denko KK, Hokuriku	200-300
United Kingdom	London & Scandinavian Metallurgical Co. Ltd. (Metallurg Inc. group), Rotherham, Yorkshire	
	Metal & Alloys, South Wales	
	Murex Ltd. (British Oxygen Co. group) Rainham, Essex	2 000
United States	Shieldalloy Corporation (Metallurg Inc. group) Newfield, New Jersey	600
West Germany	Gesellschaft für Elektrometallurgie mbH Düsseldorf[1]	
	Th. Goldschmidt A.G., Essen[1]	700
		4 300
B. Electrolytic Process		
Japan	Toyo Soda Manufacturing Co. Ltd. Yamagata City and Hyuga City, Miyazaki Prefecture	3 000
U.S.S.R.	..	..
United States	Prairie Metals and Chemicals Inc., Prairie, Missouri	
	Union Carbide Corporation, Marietta, Ohio	3 000
		6 000
World total for both methods (excluding U.S.S.R.)		10 300

Sources: Table 4, "Productive Capacity of Metallic Chromium in the World", H. Saitch (ed.) 1979 Ferro Alloy Manual, p. 217; Metal Bulletin Books Ltd., "European Metals Directory, 2nd Edition", p. 652; and, J. Parry (ed.) "Ferro Alloys:A World Survey".

[1] Location of head office.
.. Not available.

Table 16

Production of Ferrochromium-Silicon[1], by Country[2], 1977-80

	1977	1978	1979[P]	1980[e]
		(tonnes)		
Brazil	4 536	4 536	7 257	8 165[3]
India	4 536	3 629	3 629	3 629[3]
Japan	11 793	9 072	17 237	16 329[3]
Norway	-[4]	907	907	-[3,4]
South Africa[e]	29 030	30 844	35 380	29 947
Sweden	8 165	4 536	29 030	19 958
U.S.S.R.[e]	9 979	9 979	9 979	9 979[e]
United States	48 081	21 772	23 587	-[5]
Yugoslavia	5 443	8 165	6 350	6 350
Grand Total[6]	121 563	93 440	133 356	94 347

Source: F.J. Schottman, op. cit. p. 9-14.

[1] Table includes data available through June 21, 1981. [2] In addition to the countries listed, Romania is known to produce electric furnace ferroalloys, but output is not reported quantitatively and no basis is available for estimation. [3] Reported figure. [4] Less than 454 tonnes. [5] United States output of ferrochromium-silicon included with ferrochromium in order to conceal corporate proprietary information. [6] Ferrochromium-silicon for France included with ferrochromium.
[P] Preliminary; [e] Estimated.

Chromium Metal

Chromium metal producers are listed in Table 15. Production capacity is located in the industrialized countries.

Conclusions from Part IV

World output of chromite is centred in a relatively small number of countries, notably the Republic of South Africa, the U.S.S.R., Albania, the Philippines, Zimbabwe and Turkey.

No shortages of chromite are currently envisaged, barring events that would curtail supplies from South Africa or the Philippines. It has, however, been suggested that, "by the year 2000, the [Philippines] resource [of high-aluminum (refractory-grade)] chromite could be seriously depleted."[5]

Despite current excess production capacity, several countries have plans for new chromite mines, primarily for domestic ferrochromium production.

The major portion of world ferrochromium production capacity is located in South Africa, Japan, the United States, the U.S.S.R., and western Europe. Recent years have witnessed a marked decrease in the proportions of world ferrochromium output accounted for by Japan and the United States, and a corresponding increase in that accounted for by South Africa. Also, excess production capacity exists for ferrochromium.

Interruptions to the supply chain of ferrochromium - the chromium material that is most critical to the Canadian economy - are considered likely to occur in the 1980s, particularly in southern Africa, but are expected to be of short duration (months rather than years).

The United States maintains a stockpile of chromium materials, but questions have been raised as to the adequacy and quality of the materials stored.

REFERENCES

[1] F. Ergunalp, "Chromite Mining and Processing at Kavak mine, Turkey", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 89, Part A, October 1980, p. A179-A194.

[2] Staff, "IISI Charts the Chrome Revolution", Metal Bulletin, No. 6626, September 29, 1981, p. 17.

[3] Staff, "Barlow Rand: Industrials and Mining Profits Up", Mining Journal, Vol. 297, No. 7630, November 13, 1981, p. 377.

[4] J.L. Morning, N.A. Matthews and E.C. Peterson, "Chromium: A Chapter from Mineral Facts and Problems", 1980 Edition, p. 14.

[5] R.J. Wicks, "Moving Toward Stability", American Metal Market, Vol. 89, No. 243, December 17, 1981, p. 11 and 12.

PART V. ALTERNATIVE SOURCES OF SUPPLY

Chromite

(i) From Possible Canadian Production

There are more than 250 documented chromite occurrences in Canada including examples of both the "podiform" and "stratiform" types, but only a few of these contain measured resources. None of the known resources is of the high-alumina, refractory chromite that accounts for most of Canada's current use of imported ores and concentrates, and therefore these resources do not now constitute alternative supplies for current users. However, both high-iron and high-chrome ores are used to a certain extent in refractory applications and it remains to be seen whether any of the Canadian resources have suitable properties for use as refractories. In any event, these resources may be of significance should the manufacture of ferrochrome be resumed in this country.

Podiform deposits are particularly abundant in the Appalachian "serpentine belt" which extends from the Quebec-Vermont border through the Gaspé peninsula into central and western Newfoundland. Occurrences of the podiform type are also found in the Cordillera, particularly in south-central British Columbia and the Yukon. Stratiform deposits occur in the Canadian Shield, most notably in southeastern Manitoba and northwestern Ontario. There has been little exploration for chromite in Canada since the Second World War, a period that has witnessed great advances in the understanding of the geology of the ultramafic and mafic rocks that host such ores. The possible occurrence of placer chromite deposits should not be overlooked. For example, concentrations of detrital chromite have been observed in some samples of beach sands and basin sediments from Port au Port, Newfoundland.[1] Although there are most certainly opportunities for chromite exploration in this country, no probability can be assigned at this time to the likelihood of discovery of important new resources.

The applicability of Canadian chromites to the four principal product demands requires an assessment of each specific deposit. A recent review by Raicevic[2] of beneficiation work at the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) provides considerable insight into Canadian resources. Canadian chromium deposits have low chromium contents, along with relatively high iron values. Direct use in conventional application would be confined to small zones of some deposits, and upgrading to produce higher-grade chromite concentrates would generally be required. This can be achieved by fine grinding, followed by a combination of gravity separation techniques (jigging, tabling), flotation and/or magnetic separation. Alternatively, a number of chemical techniques were investigated by Downes and Morgan[3] of the federal Mines Branch. These studies indicate that acceptable grades of chromite concentrates could be produced from a number of Canadian resources. However, the costs of these processes would add considerably to the cost of the final chromium products.

Significant measured chromite resources occur principally in two areas: the Bird River area of southeastern Manitoba and the Eastern Townships of southern Quebec. At the present time, the Bird River deposits would seem to be the most likely candidates for future development.

(a) **Bird River, Manitoba.** Chromite was discovered in the Bird River sill in the Lac du Bonnet region of Manitoba in 1942 and subsequent exploration has indicated the presence of substantial resources. There are four properties that have measured resources[4,5].

The Page property is reported to contain measured and indicated resources of 1.58 million t grading 25.2 per cent Cr_2O_3 in a zone 3 050 m long averaging 1.9 m wide and to a depth of 99 m[6]. Additional inferred resources to a depth of 305 m and over a total length of 3 500 m are 4.03 million t.

The Chrome property contains measured and indicated resources of 2.09 million t grading 18.2 per cent Cr_2O_3 in a zone 1 360 m long, averaging 2.6 m wide and 198 m deep. Extending this zone to a depth of 305 m yields additional inferred resources of 1.12 million t.

The measured and indicated resources of the Bird Lake deposit are 5.83 million t grading 7 per cent Cr_2O_3 in a zone 2 130 m long, 14 m wide and 61.0 m deep. Additional resources of 11.7 million t are inferred on the assumption that the zone extends to a depth of 183 m.

The total measured and indicated reserves of the Euclid Lake deposit are 9.08 million t grading 4.6 per cent Cr_2O_3 in a zone 373 m long, 31 m wide and 244 m deep. Additional resources of 4.54 million t are inferred on the assumption that the deposit extends to a depth of 366 m.

The measured, indicated and inferred resources of the Page and Chrome properties amount to 8.8 million t with a weighted average grade of 22.6 per cent Cr_2O_3, while the total resources of the four properties are 40 million t averaging 9.6 per cent Cr_2O_3. However, as noted by Bateman[7], this estimate reflects detailed exploration of only about one-half the probable strike length of the peridotite unit which hosts the deposits, and therefore the actual magnitude of the resource may be much greater. The low grade and Cr:Fe ratio of the Bird River deposits have militated against their development in the past.

In a review of technology applicable to the Bird River deposits, Raicevic[8] concluded that a combination of ore dressing and pyrometallurgical processes could be used to exploit this domestic resource. By tabling an 18 per cent Cr_2O_3 sample, 78 per cent of the chromium was recovered in a 42 per cent Cr_2O_3 concentrate with Cr:Fe = 1.5, too low for conventional applications. Roasting of the concentrate with soda ash, followed by leaching and precipitation, produced a high-grade chromium oxide with a chromium to iron ratio above the desired Cr:Fe=3. A sulphuric acid leach of the concentrate, followed by calcination at 1000°C, produced metallurgical-grade chromite with a 75 per cent recovery. Although upgrading methods would not meet conventional specifications except at the high cost of chemical treatment, lower-grade concentrates (40-45 per cent Cr_2O_3) could be used with new smelting technology for ferrochromium production[9].

(b) **Eastern Townships, Quebec.** Chromite was mined on a test basis in the Eastern Townships of Quebec as early as 1861, but production did not begin in earnest until 1894. By the turn of the century the area accounted for about 5 per cent of annual world production. Development of foreign deposits, particularly those of Zimbabwe, led to the rapid decline of operations in Quebec and termination of production in 1910. Mining was resumed in response to increased demand and uncertainties of foreign supplies during both the First and Second World Wars. The cumulative production of chromite during the period from 1894 to 1949 in the Eastern Townships was about one-quarter of a million t. Some of the ore was of direct shipping quality but a large proportion was milled to yield concentrates that typically contained about 48 per cent Cr_2O_3 with a Cr:Fe ratio of 2.4-2.8. At least 44 separate deposits were mined but most were very small, producing only a few tens or hundreds of tons[10,11,12]. Four of the larger deposits still contained significant reserves when mining operations ceased at the end of the last war. The Reed-Bélanger deposit, immediately south of Black Lake, was mined by the Wartime Metals Corporation from 1942 to 1944. At the time of shutdown, reserves for the Reed section were 441 000 t grading 6 to 8.5 per cent Cr_2O_3 to a depth of 115 m. In addition, "probable" reserves of the Bélanger section were 500 000 t grading 6.1 per cent in a depth interval of 46 to 101 m. Two other deposits located less than 1 km from the Reed-Bélanger mine contained small "drill-indicated" reserves. The Provençal deposit had 24 600 t of material averaging 20.5 per cent to a depth of 30.5 m, while reserves of the Caribou mine were 40 600 t grading 20.5 per cent Cr_2O_3. The resources of the Sterrett mine at St-Cyr near Asbestos, Quebec, were estimated to be 68 000 to 82 000 t grading 18 per cent Cr_2O_3 in the depth interval of 146 to 177 m.

CANMET has reported[13] small-scale testing on several Quebec ores. Tabling of Black Lake ores yielded up to 47 per cent Cr_2O_3 with 60 per cent recovery. A sample of St-Cyr ore contained 31 per cent Cr_2O_3 and by the use of sand and slime tables a 48 per cent Cr_2O_3 concentrate was produced. Results from the investigation of chromium recovery from asbestos tailings were discouraging.

(c) **Other Areas.** Resources of uncertain magnitude have been reported in areas other than those described above. Chromite was discovered at Obonga Lake, about 130 km north of Thunder Bay, Ontario, in 1928 and exploration identified seven zones of interest. Development of the E-zone was undertaken from 1935 to 1937 with production of 6 210 t of ore grading from 13 to 30 per cent Cr_2O_3. The size and grade of the zone predicted from surface exploration was not borne out by underground work and the property became dormant in 1938. At that time, the company reported reserves of the E-zone to be 22 700 t grading 12 per cent Cr_2O_3 to a depth of 107 m. The "potential reserves" of the A-zone were quoted to be about 900 000 t grading 7 per cent to a depth of 137 m. Possibly significant deposits of high-iron chromite are indicated at Big Trout Lake in northwestern Ontario.[14]

Several hundred t of material have been mined at the Anarchist property near Bridesville, British Columbia. A content of 100 000 t was reported for the deposit in 1957. A grab sample assayed 26.7 per cent Cr_2O_3 with Cr:Fe = 3.15. A similar quantity of material was produced at Scottie Creek near Ashcroft, British Columbia where reported "resources" are about 18 000 t grading 15 per cent Cr_2O_3.

CANMET ore dressing investigations[15] included ores from British Columbia, Ontario and Newfoundland in addition to the aforementioned ores of Manitoba and Quebec. A sample from Port au Port, Newfoundland, was treated by jigging and tabling to yield a 53 per cent Cr_2O_3 concentrate with Cr:Fe=2.7.

The very large, undeveloped titanium-bearing magnetite deposits of the Magpie Mountains on the north shore of the St. Lawrence River in Quebec are a large potential chromium resource, albeit one from which chromium would be a byproduct only. The resource is estimated to be in the order of one billion t grading 1.6 per cent Cr_2O_3. Recent work at CANMET[16] demonstrated that 85 per cent of the chromium could be recovered by a roast-leach treatment of a 2.02 per cent chromium concentrate.

(ii) From Current and Prospective Foreign Sources

In recent years, Canada's requirements for chromite ores and concentrates have been obtained from Mozambique (mostly mined in South Africa), the United States (approximately half and half from mines in the Philippines and in South Africa) direct from the Philippines itself, and, in much smaller amounts, direct from Albania, Finland, Turkey and other countries.

The Philippines and Cuba are the principal sources of the high-aluminum refractory chromite used by the non-communist countries, although the latter has less than about one-tenth the production capacity of the former. The Soviet Union also produces some high-alumina chromite.[17] Owing to the expected continued decrease in demand for chrome refractories as well as the nature of the particular ores, most of the increases in world mining capacity will be devoted to ferrochrome grades. Therefore, there are no obvious alternative sources of high-aluminum chromite among current and prospective chromite producers in the event of disruption of supplies from the Philippines over the short term. However, in such circumstances, it is possible that consumers would be able to obtain suitable high-chrome or high-iron substitute material, or indeed to use chromite-free refractories. Brazil is a possible alternative source of high-iron chromite should Finnish or South African material become unavailable. The present consumption of high-chrome chromite in Canada is not large and, inasmuch as there are more than a dozen countries with significant production of such material, disruption of supplies from current high-chrome sources would probably not have great impact.

In this context it is relevant to consider foreign resources for which development plans have not been announced but which may become productive in some future time. The situation in the United States with respect to chromite resources is similar in many ways to that in Canada. There is one important stratiform deposit and that occurs in the Stillwater igneous complex in Montana. Chromite was mined from the complex during the periods 1941 to 1943 and 1953 to 1961, and concentrates grading from 38 to 42 per cent Cr_2O_3 with Cr:Fe $\approx$ 1.6 were produced. Resources were estimated to be about 14.5 million t grading about 12 per cent Cr_2O_3[18]. The Stillwater complex accounts for about three-quarters of U.S. resources. The remainder occurs in small podiform deposits in the Cordilleran region in Oregon, California, Washington and also in Alaska. The possible production of chromium as well as nickel and cobalt from large laterite deposits in California is currently under investigation. For example, California Nickel Corp. reports probable and inferred "reserves" of 33.4 million t with an average grade of 0.865 per cent nickel, 0.094 per cent cobalt and 2 per cent Cr_2O_3. If the recovery of chromite as a byproduct of laterite nickel production were to become economically viable, the chromite resource situation would be greatly affected. Some of the largest nickel laterite producers are reported to be stockpiling tailings with a view to the eventual recovery of chrome.[19]

A significant new stratiform chromite deposit has been discovered in the Sodankyla district of Finland about 250 km north of the existing chromite mining operation at Kemi. The Koitelainen deposit is reported to contain 47 million t grading about 20 per cent Cr_2O_3 and also significant platinum metal values; 0.6 g/t platinum-group metals.[20]

A very large, but low-grade and as yet unexploited, chromite resource occurs in the Fiskenaessett region of West Greenland. Ghisler[21] has estimated that these stratiform deposits potentially contain about 100 million t of material averaging about 12 per cent Cr_2O_3 to a depth of 100 m. Concentrates obtained from this material contained 32 per cent Cr_2O_3 and 36.6 per cent FeO and had a Cr:Fe $\approx$ 0.77.

Ferrochromium

From Possible Canadian Producers

Mineral dressing technology has been effectively used in upgrading laboratory samples of low-grade Canadian chromites to grades adequate for ferrochromium production[22]. The technique of making a separate high-grade chromium oxide by a combination of hydrometallurgical and pyrometallurgical processes can also produce commercial-grade chromite materials. Similarly, selective leaching of iron can be used to yield higher chromium-to-iron ratios in chromite concentrates. However, such techniques can add considerably to the cost of the ferrochromium feed materials.

The U.S. Bureau of Mines has demonstrated that ferrochromium can be produced from low-grade domestic U.S. chromites similar to some of the Canadian deposits[23]. The penalties are in terms of energy consumption and chromium recovery.

Recent investigations by the Ontario Research Foundation (ORF)[24] and by CANMET[25] have led to pyrometallurgical routes to commercial chrome products. ORF converted the chromium oxide to chromium carbide by reduction and carburization with coal at about 1400°C. A product containing 42 per cent Cr and 35 per cent Fe was separated by magnetic separation. This product was essentially a low-grade, high-carbon ferrochromium suitable as a direct steel addition in most applications. CANMET (Qayyum and Reeve)[25] produced a ferrochromium sponge by reduction of chromite in methane-hydrogen mixtures at 1000°C.

These new and experimental technologies must compete with the substantial improvements made in conventional carbothermic (electric furnace) smelting. Outokumpu (Finland) advertises a process for the smelting of lower-grade and fine-grained concentrates in its charge chrome process. This process involves pelletizing, preheating and electric furnace smelting with a reduced energy consumption. In the United Kingdom, Foster-Wheeler Corporation in conjunction with Tectonics Research & Development has developed a plasma reactor (sustained shortwave plasma) which has been successfully tested at a pilot plant scale in the production of ferrochromium. In Canada, Tibur metals has run small-scale tests in its "extended arc furnace", a plasma type reactor. These improvements and extensions of conventional technology provide excellent potential for the production of ferrochromium from chromite concentrates not meeting the traditional metallurgical chrome ore specifications.

Chromium Chemicals

From Possible Canadian Producers

The grade of chrome ore is not as critical for chromium chemicals as for the metallurgical and refractory grades. Lower processing costs for roasting and higher yields can be expected from high-grade ores. The grade, therefore, becomes an economic factor. The demand from chromium chemicals alone is not sufficient to justify mineral development.

Chromium Refractories

From Possible Canadian Producers

The applicability of Canadian chromites to refractory brick manufacture requires an assessment of the concentrate grades achievable from specific Canadian deposits. However, the demand is declining and alternative refractories such as high-magnesia brick are available.

Conclusions from Part V

In the past, some chromite ore has been mined and various grades of ferrochromium have been produced (up to 1974) in Canada, but there are no facilities for making this material domestically at this time.

Significant measured chromite resources occur principally in two parts of Canada: the Bird River area of southeastern Manitoba and the Eastern Townships of southern Quebec.

There is a wide array of technology, both experimental and developed, that is potentially applicable to the production of metallurgical-grade chromite and ferrochromium from Canadian chromite resources. The economics and suitability of these technologies have yet to be evaluated for Canadian circumstances. At the present time, the Bird River deposits seem to be the most likely candidates for future development.

None of the known Canadian chromite deposits is of the refractory-grade (high-alumina) variety. However, both high-iron and high-chrome chromites are now being used to a certain extent in refractory applications.

Since Canada's imports of chromite ores and concentrates are devoted to uses in refractories and foundry sands, and since output from even one or two small "on the shelf" deposits would meet domestic needs over an emergency of short duration, the degree to which Canadian chromites might be suitable for use in refractories and as foundry sands should be evaluated.

REFERENCES

[1] P.A. Hill and A.E. Ruest, "Heavy Minerals and Metals in Port au Port Bay, Newfoundland", Economic Geology, Vol. 76, No. 4, June-July 1981, p. 961-970.

[2] D. Raicevic, "Technical Review of Ore Dressing Investigations on Canadian Chromite Ores Conducted at CANMET from 1918 to 1976", Minerals Research Program, Mineral Sciences Laboratories, CANMET Report 76-39, 1976, 58 p.

[3] K.W. Downes, and D.W. Morgan, "Utilization of Low Grade Domestic Chromite", Canada, Mines Branch Memorandum Series No. 116, 1951, 42 p.

[4] J.D. Bateman, "Bird River Chromite Deposits, Manitoba", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 46, 1943, p. 154-183.

[5] J.F. Davies, "Chromite Deposits of Southeastern Manitoba", Canadian Mining Journal, Vol. 79, No. 4, April 1958, p. 112-114.

[6] Staff, Mineral Resources Division, Manitoba Department of Mines, "Chromite Reserves and Geology of the Bird River Sill, Manitoba", Manitoba Department of Energy and Mines, Mineral Resources Division, Open File Report 82-1, 1982.

[7] Bateman, op. cit.

[8] D. Raicevic, "Methods for Chromium Recovery from Manitoba Bird River Chromite Deposits", Canadian Mining Journal, Vol. 98, No. 11, Nov. 1977, p. 61-68.

[9] H. Tuovinen, J. Relander, and M. Honkaniemi, op. cit., p. 127-133.

[10] B.T. Denis, "The Chromite Deposits of the Eastern Townships of the Province of Quebec", Quebec Bureau of Mines, Annual Report, 1931, Part D, 106 p.

[11] C.H. Stockwell, "Chromite Deposits of the Eastern Townships, Quebec", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 47, 1944, p. 71-86.

[12] R. Marcotte, "Gîtes et Indices de Chromite au Québec", Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Document Publique Varia, DPV-724, Nov. 1980, 58 p.

[13] D. Raicevic, CANMET, Report 76-39, cit.

[14] P.J. Whittaker, "Chromite Deposits in Ontario", Ontario Geological Survey, Open File Report 5306, 1980.

[15] D. Raicevic, CANMET Report 76-39, cit.

[16] B.H. Lucas and G.M. Ritcey, "An Alkaline Roast-leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum". CIM Bulletin 73, No. 821, Sept. 1980, p. 126-132.

[17] S.V. Meskaleva, "Chromium" in D.V. Rundkvist (ed.), Criteria of Forecast Associations of Regions for Useful Solid Mineral Deposits, Leningrad, Nedra Publishing House, 1975.

[18] G.A. Kingston, R.A. Miller and F.I. Carillo, "Availability of U.S. Chromium Resources", U.S. Bureau of Mines, Information Circular 8465, Washington, D.C., G.P.O., 1970, 23 p.

[19] Staff, "California Nickel Studies Cr/Co/Ni Project" Metal Bulletin, No. 6575, March 24, 1981, p. 17.

[20] T. Mutanan, "A New Type of Platinum-bearing Chromite Ore in the Kaitelainen Mafic Layered Intrusion, Northern Finland", in D. Pretorius (ed.), Third International Platinum Symposium, Abstracts of Papers, Pretoria, Society of Economic Geologists and the Geological Society of South Africa, 1981, p. 28.

[21] M. Ghisler, "The Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Pre-orogenic Archaean Stratiform Chromite Deposits at Fiskenaessett, West Greenland", Gebrüder Born Trager, Berlin, 1976, 156 p.

[22] D. Raicevic, CANMET Report 76-39, cit.

[23] J.L. Morning, N.A. Matthews and E.C. Peterson, "Chromium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines Preprint from Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, 16 p.

[24] H.G. Brandstatter, "Extraction of Chromium from Low-grade Domestic Deposits" Ontario Research Foundation presentation to CANMET, Mineral Sciences Laboratories Seminar, March 10, 1981.

[25] M.A. Qayyum and D.A. Reeve, "Reduction of Chromites to Sponge Ferrochromium in Methane-hydrogen Mixtures", Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 15, No. 3, July-Sept. 1976, p. 193.

PART VI. SUBSTITUTE MATERIALS

Chromium Metal

Apart from ferrochromium and possibly the chromium units contained in stainless steel scrap, there are no substitutes for chromium metal as a source of chromium in various alloys.

Ferrochromium

Chromium metal, and possibly the chromium units contained in stainless steel scrap, are the only substitutes for ferrochromium as a source of chromium in various alloys. The largest single use of chromium is in stainless steels. A nominal minimum of 12 per cent chromium is necessary for the required corrosion resistance, but there are alloys containing 12 to 30 per cent chromium for specific combinations of corrosion and high-temperature oxidation resistance.

There is little scope for reducing the minimum chromium content of stainless steels below 12 per cent, but substitution is possible for chromium in excess of 12 per cent, using molybdenum, copper, silicon, aluminum, niobium and yttrium. Iron-aluminum-manganese-carbon alloys have been shown to have good corrosion resistance, but much more research and development is needed before those alloys could be fully substituted for chromium-bearing stainless steels.

In the event of an interruption in supply, alternative materials such as titanium, aluminum, tantalum and zinc could be used for certain applications. In the longer term, new technologies to conserve the use of chromium could be exploited, such as coatings, rapid solidification techniques, near-net-shape forming and surface treatment.

The use of chromium in other metal products, such as high strength line-pipe steels, rail and automotive steels, corrosion-resistant castings and aluminum alloys is much less critical, because equivalent properties can generally be obtained with other combinations of alloy elements such as molybdenum, vanadium, niobium, nickel and copper.

Other Chromium-Bearing Alloys

Copper-nickel-tin alloys, currently under development, offer some potential as substitutes for copper alloys containing up to 1 per cent chromium,used in electrical applications. Copper-nickel-niobium alloys can be substituted for copper-nickel-chromium alloys in marine uses.

Chromium is only a minor ingredient in Canadian-produced aluminum alloys and could be replaced by other additives such as iron, manganese or zirconium. While substitution for chromium might be possible in the case of the imported high-strength aluminum alloys (7000 series) extensive stress-corrosion testing would have to be performed on possible chromium-free alternatives.

Substitutes are readily available for the chromium-bearing titanium alloy. However, the chromium used in hard-facing and abrasion-resistant cast irons, used extensively in mining equipment and farm machinery, cannot easily be substituted for. Although tungsten and vanadium offer some potential, much development work would be required before substitution could be realized.

Chromium Chemicals

Substitutes such as cadmium yellow, organic yellow and yellow iron oxide pigments for chrome yellow are available but with a sacrifice in properties desired.

Chromium Refractories

In the event of non-availability of chromite, it would be necessary to substitute less-efficient materials, such as spinel or forsterite, or more-expensive materials such as zirconia. The chromite used by the United States refractory industry could be reduced by about 50 per cent by using magnesite-chrome refractories instead of chrome or chrome-magnesite.

Conclusions from Part VI

Stainless steels must contain a nominal minimum of 12 per cent chromium for required corrosion resistance. There is little scope for reducing the minimum chromium content of stainless steels below 12 per cent. Substitution is possible for chromium in excess of that figure, by the use of molybdenum, copper, silicon, aluminum, niobium and yttrium.

Iron-aluminum-manganese-carbon alloys have been shown to have good corrosion resistance, but much more research and development is needed before those alloys could be substituted for chromium-bearing stainless steels. They could not substitute for stainless steels in particularly corrosive environments, such as in certain very critical applications in the chemical and petrochemical industries.

In the event of an interruption in supply, alternative materials such as titanium, aluminum, tantalum and zinc could be used instead of stainless steel in most of these applications.

The use of chromium in other metal products, such as high-strength line-pipe sheets, rail and automotive steels, corrosion-resistant castings and aluminum alloys, is much less critical because equivalent properties can generally be obtained with other combinations of alloy elements.

Inferior substitutes exist for chromium chemicals and chromite-based refractories.

PART VII. SUMMARY

Canadian Uses

Canadian industry uses chromium in the form of chromite ores and concentrates, chromium metal, ferrochromium, stainless steel scrap, other chromium-bearing alloys, chromium chemicals and chromite-based refractories.

In Canada, chromite is used to produce various refractory products. Chromium metal finds application in small amounts, mainly as an alloying agent in high-alloy steels and in nickel- and cobalt-based alloys. Ferrochromium has its major use in the production of stainless steel; small quantities are used also to make cast iron, other foundry products, and superalloy castings. Some of the chromium units required for this purpose are derived from stainless steel scrap.

Small amounts of other chromium-bearing alloys are used to make copper-alloy castings containing chromium in electrical fixtures, marine equipment, the aerospace industry and for hard-facings in mining and agricultural equipment. Most of the chromium chemicals consumed in Canada are used for tanning leather; they also play an important role in the manufacture of various colour pigments, in chrome-plating operations and in the production of tin-free steel. Chromium refractory materials are used by the domestic iron and steel, portland cement, glass and nonferrous metal industries.

The proportion of chromite used in a refractory brick has declined in recent years. This has led to a reduction in the overall consumption of chromite in refractories.

Ferrochromium is considered to be by far the most critical of these materials to the national economy. In comparison, chromite in such uses as the manufacture of refractory materials, chromium chemicals, chromium metal and other chromium-bearing alloys is marginally critical on a national scale.

Current Sources

Canada is entirely dependent upon imports for its needs for chromium sub-products, except for stainless steel scrap, chromium refractories, themselves manufactured from imported chromites, and possibly some secondary chromium chemicals. In 1980, imported ores and concentrates came via Mozambique (an intermediate point for shipments from South Africa), and also via the United States (an intermediate point for shipments to Canada of Philippine, South African and possibly other source material). Ores and concentrates were also imported direct from the Philippines, and in minor amounts from Albania and several other countries.

Ferrochromium is obtained from three major sources: South Africa, the United States and Brazil. Together these countries accounted for 90 per cent of ferrochromium imports, both in 1979 and 1980.

Certain chromium-bearing aluminum-zinc alloys are made in Canada using imported chromium metal. Chromium-containing aluminum alloys of the magnesium and magnesium-silicon series can also be produced in Canada. All other nonferrous chromium alloys are imported.

Chromium-bearing chemicals are imported primarily from the United States which accounts for over 80 per cent of Canadian imports; the remainder comes from several other countries.

Raw materials used to manufacture ferrochromium, chromium metal, other chromium-bearing alloys and chromium chemicals made elsewhere and sent to Canada either from, or via, the United States may also have originated in South Africa.

Almost all of Canada's requirements for chromium refractories are produced within Canada using imported ores and concentrates. Small quantities of chrome firebricks are obtained from the United States.

World Supply

World output of chromite is centred in a relatively small number of countries, notably the Republic of South Africa, the U.S.S.R., Albania, the Philippines, Zimbabwe and Turkey.

No shortages of chromite are currently envisaged, barring events that would curtail supplies from South Africa or the Philippines. It has, however, been suggested that, "by the year 2000, the [Philippines] resource [of high-aluminum (refractory-grade)] chromite could be seriously depleted"[1]. Despite current excess production capacity, several countries have plans for new chromite mines, primarily for domestic ferrochromium production.

The major portion of world ferrochromium comes from South Africa, Japan, the United States, the U.S.S.R., and western Europe. Recent years have witnessed a marked decrease in the proportions of world ferrochromium output accounted for by Japan and the United States and a corresponding increase in that accounted for by South Africa. Excess production capacity also exists for ferrochromium. Interruptions to the supply chain of ferrochromium - the chromium material that is most critical to the Canadian economy - are considered likely to occur in the 1980s particularly in southern Africa, but are expected to be of short duration (months rather than years).

The United States maintains a stockpile of chromium materials, but questions have been raised as to the adequacy and quality of the materials stored.

Possible Domestic Sources

In the past, some chromite ore has been mined and various grades of ferrochromium have been produced (up to 1974) in Canada, but there are no facilities for making this material domestically at the present time. Significant measured chromite resources occur principally in two parts of Canada: the Bird River area of southeastern Manitoba and the Eastern Townships of southern Quebec.

There is a wide array of technology, both experimental and developed, that is potentially applicable to the production of metallurgical-grade chromite and ferrochromium from Canadian chromite resources. The economics and suitability of these technologies have yet to be evaluated for Canadian circumstances. At the present time, the Bird River deposits seem to be the most likely candidates for future development. None of the known Canadian chromite deposits are of the refractory-grade (high-alumina) variety. However, both high-iron and high-chrome chromites are now being used to a certain extent in refractory applications. Since Canada's imports of chromite ores and concentrates are devoted to uses in refractories and foundry sands and since output from even one or two small "on the shelf" deposits would meet domestic needs over an emergency of short duration, the degree to which Canadian chromites might be suitable for use in refractories and as foundry sands should be evaluated.

Substitutes

Stainless steels must contain a nominal minimum of 12 per cent chromium for required corrosion resistance. There is little scope for reducing the minimum chromium content of stainless steels below this figure. Substitution is possible for chromium in excess of 12 per cent, by the use of molybdenum, copper, silicon, aluminum, niobium and yttrium.

Iron-aluminum-manganese-carbon alloys have been shown to have good corrosion resistance, but much more research and development is needed before those alloys could be substituted for chromium-bearing stainless steels. They could not substitute for stainless steels in particularly corrosive environments such as in certain very critical applications in the chemical and petrochemical industries.

In the event of an interruption in supply, alternative materials such as titanium, aluminum, tantalum and zinc could be used instead of stainless steel in most of these applications.

The use of chromium in other metal products, such as high-strength line-pipe sheets, rail and automotive steels, corrosion-resistant castings and aluminum alloys, is much less critical because equivalent properties can generally be obtained with other combinations of alloy elements.

Inferior substitutes exist for chromium chemicals and chromite-based refractories.

Stocks

Canada does not have a national stockpile of chromium materials. Stocks of refractory-grade chromite and chromium metal held by industrial consumers and those of ferrochromium held by importers are estimated to be of the order of two to three months' consumption. Industrial users' stocks of ferrochromium are generally kept to a minimum of the order of one to two weeks' requirements. Stocks of chromium chemicals held by consumers vary from one week to six weeks' consumption.

The cost of acquiring a chromite/ferrochromium stockpile equivalent to some six months' Canadian imports is estimated to amount to $17,500,000, exclusive of storage facilities. Annual carrying charges could amount to $3 million per year.

REFERENCES

[1] J.L. Morning, N.A. Matthews and E.C. Peterson, op. cit., p. 14.

PART VIII: RECOMMENDATIONS

There is currently no lack of supplies to Canada of ferrochromium - a critical material for the stainless steel and specialty alloys industry - or of refractory-grade chromite - an important product for the iron and steel, portland cement, glass and nonferrous metal industries. The outlook does, however, suggest that the likelihood of future interruptions to supply may warrant insurance measures. Any such interruptions in the 1980s would most likely involve disruptions of several months' duration to the flow of ferrochromium and chromite from southern Africa.

While the Canadian government has not, at least in time of peace, seen a need to play a role in assuring chromium supplies for Canada, some forward planning by government at this time could provide more room for manoeuvre in the case of any unexpected supply interruptions (Table 17). To this end, it is recommended that Energy, Mines and Resources Canada:

1) obtain political risk analyses for countries along Canada's chromium supply chains to assess more closely the overall vulnerability of Canada's chromium supply systems;

2) prepare an in-depth analysis of the actual and proposed stockpiling arrangements for strategic mineral materials in other industrialized nations; and

3) on the basis of the above, develop an appropriate policy mechanism for Canada to minimize the effects of possible short-term interruptions to chromium supplies.

In addition, means should be sought to lessen Canada's dependence on imports and consequently its vulnerability to longer-term interruptions to chromium supplies through:

1) the use of domestic chromite resources in Manitoba and/or Quebec to produce ferrochromium, chromium-bearing steels and other chromium-bearing alloys, and/or chromium refractory products;

2) the encouragement of geological research that could lead to the discovery of chromite deposits more attractive than those discovered to date; and

3) the encouragement of research to permit the development of low-chromium or chromium-free steels and/or alloys and substitute refractories.

TABLE 17

Courses of Action Currently Possible in the Face of Interruptions to the Supply of Chromium Materials

Expected Duration of Interruption	Chromium Sub-Product I Chromium in Ores & Concentrates		II Ferrochromium (FeCr)	III Other Chromium-bearing Alloys	IV Chromium Chemicals
A. Two to Six Months:	a) Refractory-grade: i) seek to obtain additional supplies from the U.S.A. and producer countries ii) decrease demand by substitution in refractory bricks	b) Other grades (not now imported): not applicable	seek to obtain additional supplies from the U.S.A. and other producer countries	seek to obtain additional supplies from the U.S.A. and other producer countries	seek to obtain additional supplies from the U.S.A. and other producer countries
B. Six Months to Two Years:	i) as under A ii) evaluate Quebec and Bird River, Manitoba chromites for possible use in refractories	i) selectively mine Quebec deposits for conversion into ferrochrome under some toll arrangement in the U.S.A. ii) evaluate upgrading techniques for producing metallurgical-grade chromite from the Bird River, Manitoba deposits	i) as under A ii) convert selected Quebec ores to ferrochrome under toll arrangement in the U.S.A. iii) evaluate potential of using Bird River chromite in the manufacture of FeCr	i) as under A ii) evaluate substitutes in various end-use products	i) as under A ii) evaluate substitutes in various end-use products
C. Two to Five Years:	as under B	i) as under B ii) Subject to satisfactory results from II B (iii) develop processing facilities for producing metallurgical-grade chromite from Bird River, Manitoba ore	i) as under B ii) evaluate feasibilities of toll arrangement in the U.S.A. for Bird River chromite and/or constructing domestic FeCr facilities, or converting present electric furnaces to produce FeCr iii) evaluate unique technologies for treating low-grade Canadian ores	as under B	as under B
D. More than Five Years:	i) as under C ii) take appropriate action to identify, assess and develop other refractory-grade chromite resources in Canada	i) as under C ii) take appropriate action to identify, assess and develop other metallurgical-grade resources in Canada	as under C	as under B	as under B

APPENDICES

APPENDIX 1

Average Annual Prices of Selected Chromites, 1970-80

Year	Transvaal[1]	Russian[2]	Turkish[3]
	($ Cdn Equivalent/Tonne)		
1970	25.62 - 27.75	51.16 - 54.29	56.52 - 57.54
1971	24.84 - 26.83	52.00 - 55.54	54.67 - 55.66
1972	23.40 - 26.32	44.57 - 46.04	53.62 - 54.59
1973	32.47 - 33.46	37.00 - 39.00	36.42
1974	45.24 - 50.05	51.83 - 56.72	62.57
1975	37.05 - 52.06	152.60	132.17 - 142.17
1976	36.88 - 44.65	147.92	128.12 - 137.82
1977	58.62 - 63.85	159.53	138.17 - 148.64
1978	60.60 - 65.09	n.a.[4]	117.84[5] - 160.47[6]
1979	62.26 - 66.87	n.a.[4]	126.84
1980	58.68 - 63.28	n.a.[4]	126.57

Sources: Prices, Metals Week; Exchange Rates, Bank of Canada Review, November 1981, p. S-117.

1 Transvaal
2 Russian - dry, f.o.b. shipping point 44% Cr_2O_3 48% Cr_2O_3 Cr:Fe = 4:1 48% Cr_2O_3 Cr:Fe = 3:1
3 Turkish
4 List Price Suspended
5 Price on June 1, 1978
6 Price on Feb. 1, 1978

APPENDIX 2

Prices of Chromium Metal and Various Grades of Ferrochromium[1]

	$ Cdn Equivalent/ kg Cr
A. **Chromium Metal**, 99.6% Cr per kg material	
i) Electrolytic	10.39 - 11.32
ii) Vacuum grade pellets	10.92 - 11.32
iii) 9% C Metal	10.92 - 11.32
B. **Ferrochromium**	
1. Charge Chromium	
i) 65-70% Cr	1.33 - 1.44
ii) 50-55% Cr	1.27 - 1.28
2. High-Carbon Ferrochromium	1.39 - 1.57
3. Standard Low-Carbon Ferrochromium 67-73% Cr lump	
i) .05% C (13.6t)	2.59
ii) .02% C (13.6t)	2.66
4. Simplex Ferrochromium 68-72% Cr	
i) 0.015% C	2.66
ii) Nitrogen-Bearing	2.93
5. Ferrochrome - Silicon Low-carbon grade	.94

Sources: American Metal Market, Aug. 19, 1981, Vol. 89, No. 160, p. 20; Exchange Rate, The Globe and Mail, Aug. 25, 1981, p. B-12.

[1] F.o.b. producer.

APPENDIX 3

Prices of Various Chromium Chemicals

	$ Cdn. Equivalent/ kg material
A. Sodium bichromate	
i) granular, bags, carload, truckload, works	1.33
ii) granular, bags, carload, freight equalized	1.20
B. Chromic acid	
i) 99.75% flake, drums, carload, freight equalized	3.14
ii) ground, (same basis)	3.33
C. Chromium oxide	
hydrated 22.7 kg bags, carload	14.65
pure, bags, carload	3.60 - 3.82
D. Chrome green	
i) chemically pure, extra light, bags delivered east of Rockies	4.48
ii) light, chemically pure, extra light, bags delivered east of Rockies	4.53
iii) medium, chemically pure, extra light, bags delivered east of Rockies	4.58
iv) extra deep, chemically pure, bags, delivered east of Rockies	4.64
E. Chrome orange	
chemically pure, bags, delivered east of Rockies	2.21 - 2.37
F. Chrome yellow	
chemically pure, barrels, delivered east of Rockies	2.90 - 3.14

Sources: Chemical Marketing Reporter, Aug. 24, 1981, Vol. 220, No. 8, Part 1, p. 32 and 38. Exchange Rate, The Globe and Mail, August 25, 1981, p. B-12.

APPENDIX 4

Canadian Customs Tariffs on Imported Chromium Materials

Item No.		Rate			
		British Preferential	Most Favoured Nation	General	General Preferential
			(%)		
32900-1	Chrome ore	free	free	free	free
34700-1	Chromium metal in lumps, powder, ingots, blocks or bars, and scrap alloy metal containing chromium for use in alloying purposes	free	free	free	free
37506-1	Ferrochrome	free	5	5	free
92821-1	Chromium oxides and hydroxides	free	14.7	25	free
	With the following exceptions:				
	For use in the manufacture of artificial resins and plastics	free	free	25	free
	For use in the manufacture of additives for heating, lubricating and fuel oils	free	5	25	free
92821-2	Chromium trioxide for use in the manufacture of galvanized and tin plated steel	free	free	25	free
92838-8	Chromium potassium sulphate	free	free	10	free
92838-9	Chromium sulphate, basic	free	free	10	free

MFN Reductions under GATT (effective January 1 of year given)

Item No.	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
37506-1	5.0	4.8	4.7	4.5	4.3	4.2	4.0
92821-1	14.4	14.1	13.8	13.4	13.1	12.8	12.5

Source: The Customs Tariff and Commodities Index, January 1980, Revenue Canada.

APPENDIX 5

CHROMITE, COUNTRY BY COUNTRY REVIEWS

Albania

Recent years have shown an increase in the size and importance of the Albanian chromite industry which is now the third-largest in the world. Mining operations are in four parts of the country: the Tropojë - Kukës area in the northeast, the Bartër-Martanesh area in Central Albania, the Pogradec-Lake Ohrid area in the east and the Korçë district in the south[1]. The largest mine is reportedly the Todo Manco operation in the Bartër-Martanesh region, near Bulqizë, northeast of Tirana.

Albanian ores are considered to be suitable for both metallurgical and refractory purposes. They are used to make ferrochromium for the Steel of the Party metallurgical complex at Elbasan. However, most are exported, either as ore with 38 to 42 per cent Cr_2O_3 or in the form of concentrates with 52 per cent Cr_2O_3.

Since 1978, Albania has been directing its exports towards Europe (Yugoslavia) and the United States, providing some 8.6 per cent of United States imports in 1980.

Brazil

Another country that has witnessed a significant expansion in its chromite mining industry is Brazil, which has seen output (of beneficiated ore) rise from some 38 400 t in 1969 to 353 940 t in 1979.[2] The most important operations are located in the State of Bahia in northeastern Brazil. Compania de Ferro Ligas da Bahia SA (Ferbasa), the principal domestic producer, uses its chromite to make ferrochromium. The second most important company, Bayer AG (Brasil), produces chromite sands.

Cuba

Cuba is one of few producers of high-aluminum (refractory) chromite. Two chromite mines are located in the Moa-Baracoa area of Oriente Province. Chromium is also recovered in mining operations of nickel-bearing laterite in the same province.

Cyprus

Small quantities of refractory-grade chromite concentrates, and some metallurgical ore, are produced in Cyprus, mostly by the Hellenic Mining Co., Ltd., from a mine near Kakopetria in the Troodos Massif.

Finland

Production of chromite concentrates from the relatively low-grade (27 per cent Cr_2O_3, Cr:Fe=1.6) Kemi deposit of Outokumpu Oy in northern Finland commenced in 1966. Concentrate from this mine is sent to a ferrochromium plant at nearby Tornio and also exported to other countries, including the United States. The company produces chromite pellets for metallurgical use, foundry-grade concentrates, and chemical-grade concentrates and was reported, in 1980, to be the only major source of chemical-grade material in the western world outside South Africa.[3]

Greece

Greece is a small-scale producer of chromite. Metallurgical-grade concentrate[4] is produced at the Skoumitsa mine, in the Vourinos area of Macedonia and refractory-grade material is produced by the Financial Mining-Industrial & Shipping Corp. (FIMISCO) at Eretria[5], near Volos.

India

India is a relatively important producer of chromite, some 90 per cent of its output coming from mines in the State of Orissa. Most of its ore is exported, principally to Japan, but the domestic chromite industry is currently being expanded to provide raw materials for a local ferrochrome industry.

Iran

Iran has deposits of high-grade chromite, to the north of Bandar Abbas on the Persian Gulf, operated by the Esfandaqeh Mining Co., and at Frojmad in the northern part of the country, operated by the Faryab Co.

Madagascar

Madagascar has long been a producer of chromite. The state mining company, Kraoma-Kraomita Malagasy has two mining operations at Befandriana and Andriamena. Ore from Befandriana is trucked to Andriamena for concentrating and the output from both properties, grading some 50 per cent Cr_2O_3, is transported by road and rail to the port of Tamatave.[6]

Pakistan

A high-grade (typically 54.4 per cent Cr_2O_3) metallurgical chromite is produced in limited quantities from mines near Muslimbagh, in Baluchistan, close to the Afghanistan border.

Philippines

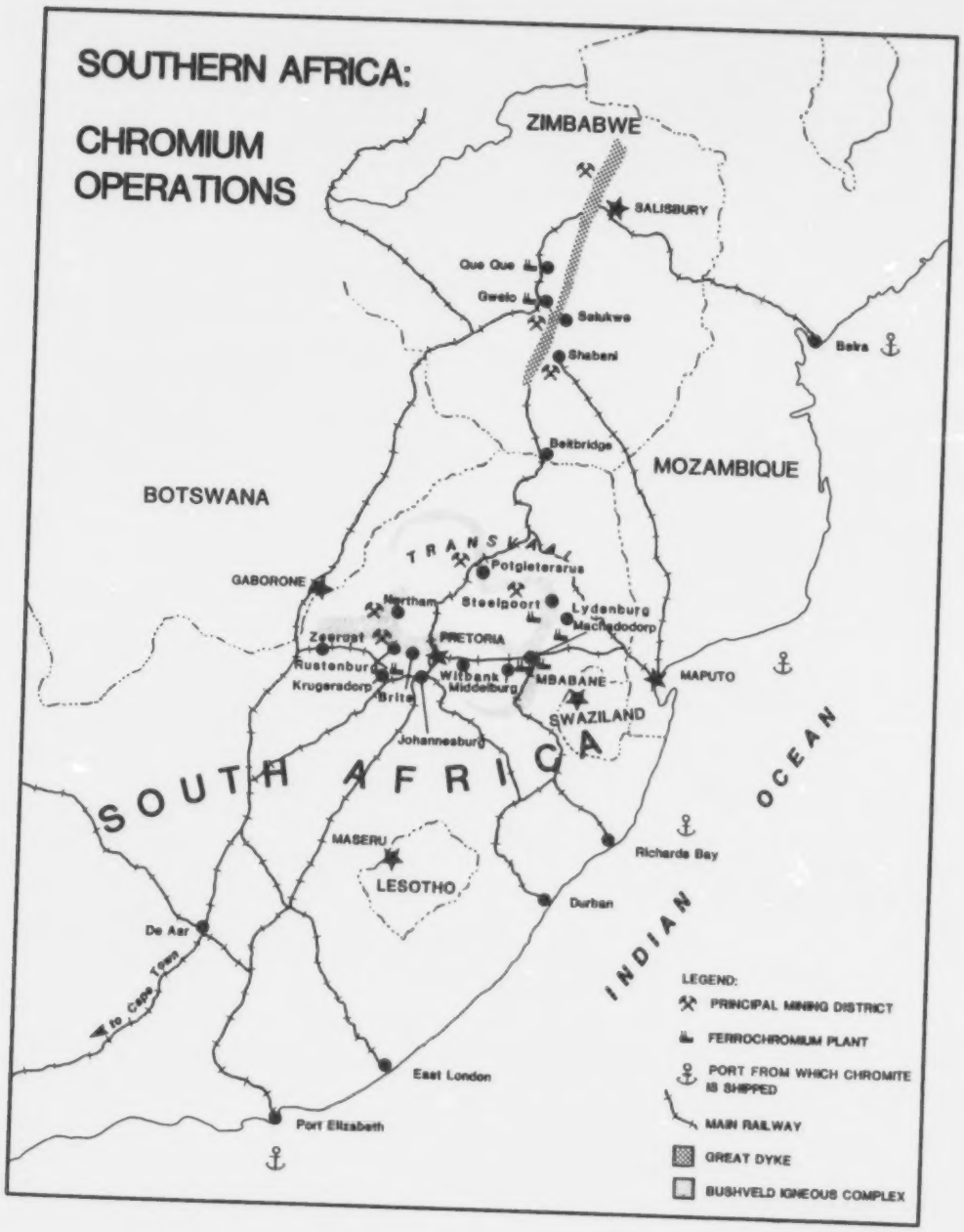
The Philippines is the world's fourth-largest producer of chromite and its principal source of refractory-grade material. Numerous small high-grade deposits occur in the Provinces of Zambales, Samar and Palawan.

In 1980, refractory chromite was produced at four mines; in 1978 over 98 per cent came from Benguet Consolidated Inc.'s operation on Consolidated Mines Inc. property at Masinloc (Zambales).

Metallurgical-grade chromite was produced by some 17 companies, 63 per cent coming from the Acoje Mining Co. (Zambales), Trident Mining & Industrial Corp. (Palawan Island) and Golden Arrow Mining (Palawan Island).

Republic of South Africa

Chromite has been produced in the Republic of South Africa since 1924 and that country (Figure A-1) is currently the world's largest producer. In 1979, chromite production was reported as 3 296 962 t and sales of chrome ore and chrome sands were 2 266 787 and 311 768 t, respectively.[7] In 1980, output amounted to a record 3.4 million t of ore and concentrates.[8]


SOUTHERN AFRICA:
CHROMIUM OPERATIONS
ZIMBABWE
SALISBURY
Que Que
Gweio
Sebakwe
Shabani
Beira
Beitbridge
MOZAMBIQUE
BOTSWANA
TRANSVAAL
Potgietersrus
GABORONE
Northam
Steelpoort
Lydenburg
Machadodorp
Zeerust
PRETORIA
Rustenburg
Krugersdorp
Brits
Witbank
Middelburg
MBABANE
MAPUTO
SWAZILAND
Johannesburg
SOUTH AFRICA
INDIAN OCEAN
MASERU
LESOTHO
Richards Bay
Durban
De Aar
to Cape Town
East London
Port Elizabeth
LEGEND:
PRINCIPAL MINING DISTRICT
FERROCHROMIUM PLANT
PORT FROM WHICH CHROMITE IS SHIPPED
MAIN RAILWAY
GREAT DYKE
BUSHVELD IGNEOUS COMPLEX

South African chrome mines are found in two areas - the Eastern and the Western Transvaal. The ore occurs in 14 significant seams in the mafic zone of the Bushveld Igneous Complex, and in seams down to a depth of 600 m in three main groups - the upper group (2); the middle group (4) and the lower (8).

Typical of the ore mined in South Africa is the lower group No. 6 reef, known as the Steelpoort Main, in the Eastern Section. This seam's width averages between 1.1 and 1.2 m, and has an average chrome oxide content of 44 per cent and a chrome to iron ratio of 1.5 to 1. Other seams vary from 42 per cent to 53 per cent chrome oxide and from 1.3 [to 1] to 2.0 [to 1] chrome to iron ratio".[9]

Seven South African-based companies and four subsidiaries of parent companies in North America and western Europe recover chrome ore and concentrates from some 16 mining operations.

General Mining Union Corporation Limited (Gencor) and Barlow Rand Limited are each believed to produce approximately one million tpy. Gencor operates the Montrose-Groothoek mine near Steelpoort in Eastern Transvaal (E.T.) and another mine at Kroondal near Rustenburg. Most of the output of the Groothoek section of the Montrose-Groothoek mine is of high-iron (chemical) grade (e.g. Cr_2O_3 46.82 per cent, FeO 25.22 per cent, SiO_2 0.96 per cent, Al_2O_3 14.84 per cent...).[10]

Through its subsidiary, Transvaal Consolidated Land & Exploration Co. Ltd., Barlow Rand produces high-quality chromite sand, mainly for export, at its Millsell Chrome mines operation near Rustenburg, lumpy chemical ore and foundry sands from its Henry Gould operation near Brits, Western Transvaal (W.T.), and additional material for the group's ferrochrome plant from its Winterveld operation near Steelpoort in E.T. In April 1981, this mine "estimated to contain about 10 per cent of the known western world reserves of chrome...(was) producing about (68 000) t/month of chrome ore, less than 50 per cent of its installed capacity"[11].

The S.A. Manganese Amcor Ltd. (Samancor) "with an annual output of some 500 000 t"[12] produces chromite principally for use in the group's Witbank metallurgical plant from its Grasvally mine near Potgietersrus (e.g. "lumpy ore: Cr_2O_3 41 per cent, FeO 15.6 per cent, with a Cr:Fe ratio of 2.31:1; and concentrate: Cr_2O_3 52-53 per cent, FeO 19.5 per cent and a Cr:Fe ratio of 2.39:1"[13]), from its Ruighoek mine, near Northam, W.T., and from its Mooinooi mine near Brits, W.T.

Other South African-owned producers include Zeerust Chrome Mines Ltd., most of whose production is destined for its own ferrochrome plant at Fairview, E.T.;[14] Consolidated Chrome Corp. with a relatively small operation near Rustenburg, W.T.; Mining Corporation Ltd., a producer of chemical and metallurgical grade materials near Steelpoort, E.T.; and Vereeniging Refractories Ltd. producing some 70 000 tpy of refractory chromite for domestic use and export from its mining operations at Nietveriend, 50 km north of Zeerust.[15]

The foreign-controlled companies include "Jagdlust Chrome Co. (Pty) Ltd., a subsidiary of Union Carbide Corporation of the United States which produces refractory-grade material for export; Lavino South Africa Pty. Ltd. (output of 330 000 t in 1977), a subsidiary of the International Minerals & Chemical Corporation with a mine near Steelpoort, E.T.: Waterkloof Chrome Mines (Pty.) Ltd. controlled by Metallurg Inc., which also buys additional quantities of chromite for export, and Bayer AG, which ships the output of its mine at Rustenburg, W.T. principally to its plants in West Germany[16].

Most of South Africa's chromite is sent to its rapidly expanding ferrochromium industry and to refractory manufacturing plants; the rest is exported. South Africa is the world's principal source of chemical-grade materials and of chromite foundry sands for high-temperature steel castings. In 1980, when chromite output was 3 414 000 t, exports amounted to 1 213 362 t[17].

Chrome exports have generally been routed through Maputo, Mozambique, but are now being gradually diverted to Richards Bay, South Africa, to avoid problems in shipping it out of the country[18,19]. The South African chromite mining industry is currently feeling the effects of the sharp decline in worldwide demand for chromium materials which has forced many South African producers to reduce production or in some cases to shut down altogether. This overcapacity situation could be exacerbated if chromium materials are produced as byproducts from platinum production from the UG2 chromium-platinum reef in Rustenburg[20,21]. Recently, however, Western Platinum Ltd. announced that it will separate and stockpile the chromite-rich fraction of UG2 ore when it commences mining it in April 1982.[22]

Sudan

Small quantities of chromite are produced for export in the Sudan by the privately-owned Blue Nile Chromium Ltd. and the state-owned Ingessana Hills Mine Corp.[23]

Turkey

Turkey is the world's sixth-largest producer of chromite, particularly of the high-grade metallurgical varieties. Deposits are scattered throughout the country, production coming primarily from the Guleman district in eastern Turkey[24]. Etibank, the state mining company, is the principal producer, accounting for some 35-40 per cent of total output[25]. There are numerous small private operators whose output varies with market conditions. Turk Maadin Sirketi (Turkish Mining Company) provides raw material for its Swedish parent (Ferrolegeringar).

There are 14 significant mines, eight of which have beneficiation plants. Etibank's Eastern Chromite Works has a capacity to process between 225 000 and 270 000 tpy of ore to concentrates principally at the Sonidag and Kefdag operations; Egemetal Madencilik A.S. one of 135 000 tpy and Turk Maadin Sirketi one of 135 000 tpy.[26]

United States

No chromite is currently produced in the United States. Apart from recycled chromium contained in purchased stainless steel scrap, which in 1980 accounted for 9 per cent of U.S. demand[27], and any net withdrawals from stocks, the United States is entirely dependent upon imports for its chromite supplies. In 1980, its principal sources of imports were the "Republic of South Africa, 40 per cent; U.S.S.R., 16 per cent; Philippines, 15 per cent; Turkey, 10 per cent; and, other countries, 19 per cent".[28]

The United States maintains a national defense stockpile of chromium raw materials (Table A-1). None of the designated goals for chromite has been achieved. United States consumers' stocks (all grades combined) were equivalent to some nine months' consumption.

U.S.S.R.

The U.S.S.R. is the world's second-largest producer of chromite. The principal producing areas for metallurgical chromite are near Aktyubinsk and Khromtau in Western Kazakhstan.[29] The Donskoye combine at Khromtau (a complex of six open-pit mines and a concentrator) is considered to account for some 90 per cent of the total ore from this region,[30] which itself produces some 95 per cent of the Soviet Union's total output.[31] "The Cr_2O_3 content of the ore is usually between 53 and 54 per cent with a Cr:Fe ratio of 4:1; this makes it ideally suitable for metallurgical usage. Grades suitable for refractories and chemicals are also produced."[32]

Appendix Table A-1

United States Chromium Stockpile Status as of November 30, 1980[1]

Material	Goal	Total Inventory	Percentage of Goal Achieved
	(tonnes)		
Chromite:			
Metallurgical-grade	2 902 991	1 775 360	61.2
Chemical-grade	612 349	219 539	35.9
Refractory-grade	771 107	354 709	46.0
Chromium Ferroalloys	317 514	688 553	216.9
Chromium Metal	18 144	3 629	20.0

Sources: E.C. Peterson, "Chromium" in U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries 1981, p. 32.

[1] In addition to data shown, the stockpiles contained the following non-stockpile-grade materials: 481 914 t of metallurgical-grade chromite and 18 835 t of chromium ferroalloys.

"The main source of the country's chemical and refractory-grade chromite is the Saranovskoye operation"[33] in the southern Urals where the deposits have a lower chrome oxide content (20-40 per cent)and Cr:Fe=1.5-2.0.[34]

In 1979, Soviet exports of chromite were estimated at 750 000 t (30.6 per cent of production), three-quarters of which was sent to market-economy countries.

Zimbabwe

Zimbabwe, (Figure A-1), is the world's fourth-largest producer of chromite and is a particularly important source of metallurgical-grade material. About 70 per cent of the country's chromite output is metallurgical-grade material that comes from the Selukwe Peak and Railway Block Mines at Selukwe operated by the Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd. (a subsidiary of Union Carbide Corporation).

Rhodall Limited (a member of the Anglo-American group) produces both metallurgical and refractory ores from workings in the Great Dyke. Nine other operators, including the Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd. also have mines on the Great Dyke.[35]

Specifications for Great Dyke chromites (Table A-2) are given by D. Slatter[36] as follows:

According to Slatter "Although the Great Dyke ores are of very good chemical quality, there are some problems associated with their mining and processing to ferrochromium. Because the seams are generally very narrow, mining costs are high in comparison with those for South African ores, where seam widths are much greater. In addition, a large proportion of the ores are friable and disintegrate readily to fines."[37]

Appendix Table A-2

Great Dyke Chromite Ores

	High-Chromium (No.7 seam)	High-Chromium (No.4 seam)	High-Iron (No.2 seam)	Eluvial concentrates
Cr_2O_3(%)	49.9	51.4	43.4	51.5
FeO(%)	13.2	15.9	17.2	19.9
Cr:Fe ratio	3.3	2.8	2.2	2.3

Normally, Zimbabwe's chrome ore exports are reported to move through the port of Port Elizabeth, South Africa.[38] At the present time, "critical bottlenecks in skilled labour are seriously affecting the mining industry as well as other sections of the economy, notably the railways...Transport bottlenecks are affecting the outward movements of ores and metals and the inflow of mining equipment and stores."[39] There are, however, some positive aspects to this situation; "at the time sanctions were lifted no traffic was passing between Zimbabwe and Mozambique. Since then the Port of Beira has been handling 1 500 tpd of Zimbabwe freight,... Maputo is coping with 1 100 tpd and expects to raise this soon to 9 000 tpd."

"Mozambique is itself seeking finance and technical assistance to modernize ports, streamline the railways and build up its stocks of locomotives and rolling stock, but it is recognized that this could take years to complete."[40]

Other Countries

Minor amounts of chromite have been produced in Colombia and Japan.

REFERENCES

[1] W.G. Steblez, "The Mineral Industry of Albania", U.S. Bureau of Mines, Preprint, 1978-79 Bureau of Mines Minerals Yearbook", p. 7.

[2] Brasil, Departmento Nacional da Produçao Mineral, "Balanco Mineral Brasileiro, 1980, Minerais Metalicos, Vol. 1", p. 104.

[3] E.M. Dickson, "Chromite: Southern Africa Holds Sway", Industrial Minerals, No. 150, March 1980, p. 65.

[4] Roskill Information Services Ltd, "The Economics of Chromium, Third Edition, 1978", p. 85.

[5] E.M. Dickson, "Chromite: Southern Africa Holds Sway" Industrial Minerals No. 150, March, 1980, p. 63.

[6] E.C. Peterson, op. cit., p. 10.

[7] Republic of South Africa, Department of Mines, "Table 6, Mineral Production and Sales", Mining Statistics 1979, p. 13.

[8] E.C. Peterson, op. cit., p. 12.

[9] "Chromium" in South African Mining & Engineering Yearbook, 1978 Edition, p. 61.

[10] E.M. Dickson, "Chromite - Southern Africa Holds Sway" in B.M. Coope and E.M. Dickson (eds.) "Raw Materials for the Refractories Industry: An 'Industrial Minerals' Consumer Survey", p. 67.

[11] Staff, "Problems for Chrome Producers", Mining Journal, Vol. 296, No. 7600, p. 296.

[12] E.M. Dickson, op. cit., p. 67.

[13] E.M. Dickson, op. cit., p. 68.

[14] E.M. Dickson, Ibid.

[15] E.M. Dickson, Ibid.

[16] E.M. Dickson, op. cit., p. 68.

[17] Staff, "Future Trade in Southern Africa's Industrial Minerals", Industrial Minerals, No. 166, July 1981, p. 45.

[18] Staff, "New Constraints Squeeze Zimbabwe Cr," Metal Bulletin, No. 6578, April 3, 1981, p. 19.

[19] Staff, "Are Ore Talks now in Agreement?" Metal Bulletin, No. 6579, April 7, 1981, p. 17.

[20] Staff, "New Technology may Unlock more Platinum from Bushveld Resources", Engineering and Mining Journal, Vol. 181, No. 11, November 1980, p. 35 and 39.

[21] Staff, "Metallurgical Development Impacts on PGM, Cr Mining", Mining Magazine, Vol. 143, No. 5, p. 381 and 383.

[22] Staff, "S.A. Producers at Variance", Mining Journal, Vol. 297, No. 7632, November 27, 1981, p. 408.

[23] "The Mineral Industry of Sudan", Preprint from 1978-79 U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 4.

[24] Staff, "Etibank's Role in the Turkish Mining Industry", Mining Magazine, Vol. 140, No. 6, June 1979, p. 493.

[25] Staff, "Turkey", Mining Annual Review, 1981, p. 527.

[26] "The Mineral Industry of Turkey", Preprint, 1978-79 U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 9.

[27] E.C. Peterson, "Chromium" in the U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries 1981, p. 32.

[28] E.C. Peterson, Ibid.

[29] Roskill Information Services Ltd., op. cit., p. 165.

[30] E.M. Dickson, op. cit., p. 69.

[31] "The Mineral Industry of the U.S.S.R.", Preprint, 1978-79 U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 27.

[32] Roskill Information Services Ltd., Ibid.

[33] E.M. Dickson, Ibid.

[34] Roskill Information Services Ltd., Ibid.

[35] E. Shekarchi, G. Morgan, P. Clarke and S. Ambrosio, op. cit.

[36] D. Slatter, "Economic metals in the Great Dyke", Metal Bulletin Monthly, No. 125, May 1981, p. 24.

[37] D. Slatter, Ibid.

[38] Staff, "New Constraints Squeeze Zimbabwe Cr", Metal Bulletin, No. 6578, April 3, 1981, p. 19.

[39] Staff, "Zimbabwe: 18 Months After", Mining Journal, Vol. 297, No. 7628, October 31, 1981, p. 330.

[40] Ibid.

APPENDIX 6

FERROCHROMIUM, COUNTRY BY COUNTRY REVIEWS

Albania

A ferrochromium plant was reported to have come into production in the Mati district in 1979[1].

Brazil

Brazil is now a significant producer of ferrochrome, with some 92 000 in 1980[2]. Compania de Ferro Ligas da Bahia SA (Ferbasa) has produced ferrochrome at its plant at Pojuca, Bahia, since 1963. Brazil is now a significant exporter of high-carbon ferrochromium, exporting 45 per cent of its 1980 output.

China

China has a ferrochromium industry which is estimated to produce some 90 000 tpy.

Finland

Finland produces charge ferrochromium at Outokumpu Oy's plant at Tornio in northern Finland. This material is either exported as such or used to make stainless steel at the company's plant in the same location[3].

France

In 1977, France was the seventh-largest producer of ferrochromium. It has since been displaced to ninth by growing output from Brazil and China. The Société Française d'Électrométallurgie is the principal producer of this material.

According to an article by R.J. Wicks,[4] the French government is reported to have purchased approximately 80 000 t of high-carbon ferrochrome/charge chrome, or approximately nine months' consumption.

India

There are two principal producers of ferrochromium in India: Ferro Alloys Corporation, Ltd., with a plant at Tumsar in Maharashtra State, using chromite from Orissa Mining Corp. Ltd.; and Visvesvaraya Iron & Steel Ltd., with a plant in Mysore. India's annual level of output is significantly affected by the availability of electric power.

Japan

Although it has virtually no chromite production, Japan (with an estimated 317 000 t of high-carbon and 48 000 t of low-carbon ferrochromium produced in 1980)[5] is the world's third-largest producer of ferrochromium. Showa Denko KK, the most important producer, makes low-carbon ferrochromium and silicon-chromium at its Chichibu works and high-carbon ferrochromium at its Toyama plant. Japan Metals & Chemicals Co. Ltd. produces high-carbon ferrochromium, low-carbon ferrochromium and ferrochrome-silicon.

In 1976, Japan's principal sources of chromite ores were: South Africa, India, Madagascar, The Philippines, Turkey and Iran. In recent years Japan has also imported increasing quantities of ferrochromium from South Africa.

Japan has actively pursued a policy of investment in chromite-mining operations throughout the world, notably in Brazil, Madagascar and the Sudan.

Mexico

Cláa Minera Autlan SA de CV has a small medium-carbon ferrochrome production plant at Tezuitlan that uses imported chromite as feed material.

Norway

A/S Bjolvefossen produces high-carbon and medium-carbon ferrochromium from imported ores at a small plant at Alvik.

Philippines

Ferro-Chemicals Inc. has a very small ferrochrome production unit at Mindanao.

Republic of South Africa

The Republic of South Africa (Figure A-1) is the western world's principal source of ferrochromium produced from domestic ores. Installed capacity is now reported to be about 800 000 t. It has six major charge-chromium plants, two of which also produce low-carbon grades. The largest (1979) annual capacity estimated at 245 000 t was that of S.A. Manganese Amcor Ltd.'s Ferrometals Ltd. plant at Witbank, Tubatse Ferrochrome (Pty) Ltd. (partially owned by the Gencor group) had an annual capacity of some 109 000 t and Consolidated Metallurgical Industries Ltd. managed by Johannesburg Consolidated Investment Co. Ltd., one of a similar magnitude. Middleburg Steel & Alloys (Pty) Ltd., a member of the Barlow Rand Limited group also had the ability to produce some 109 000 tpy.

South African local sales represent only a small proportion, perhaps about 3 per cent, of output. Exports, which had accounted for some 97 per cent of production (660 000 t) in 1979, amounted to only 79 per cent of 1980 output (685 000 t). South African ferrochromium stocks are now surmised to be equivalent to some 340 000 t or around 62 per cent of 1980 exports[6].

Sweden

Sweden is the world's sixth-largest producer of ferrochromium and an important producer of ferrochrome-silicon. Sweden has no domestic production of chromite; its principal suppliers of that material are believed to be Finland and the U.S.S.R.

Turkey

Etibank, the Turkish state mining enterprise, has ferrochromium production facilities at Antalaya (low-carbon) and Elazig-Gulusgur in the Guleman district (high-carbon). In 1980, Turkish exports were believed to be of the order of 28 000 tpy.[7]

United States

Recent years have witnessed a substantial decline in the world role of the United States ferrochromium industry, due, in large part, to competition from plants, often owned by American parents, in South Africa and elsewhere. The decline was also "due to the closing of about half of the existing U.S. ferrochromium capacity as a result of obsolescence, including failure to meet environmental and other regulatory requirements".[8]

As of November 15, 1978, the duty "on ferrochromium, containing over 3 per cent by weight of carbon, valued less than 38 cents per pound"[9] was increased to provide relief to the U.S. domestic ferrochromium industry. This relief has recently been extended for one year by the present U.S. administration.[10]

U.S.S.R.

Ferrochromium production plants are located at Aktyubinsk and Chelyabinsk in the Middle-Urals and at Khromtau in Kazakhstan. Most of the ferrochromium produced in the U.S.S.R. is now believed to be for internal consumption by associated countries.

Yugoslavia

Three ferrochromium producers are currently operating in Yugoslavia. Dalmacija, near Split, produces high-carbon ferrochrome; Jugohrom HEK, at Skopje, produces high-carbon and low-carbon ferrochrome; and Tovarna dušika Ruše, at Ruše, has production capacity for high-carbon and low-carbon ferrochrome and for silicon-chrome.

Zimbabwe[11]

Some 75 per cent of Zimbabwe's chromite production is sent to two ferrochromium plants in that country (Figure A-1). These are the Rhodall Limited operation near Gwelo, with a current annual capacity of 103 000 t and Union Carbide's plant at Que Que, capable of producing some 82 000 tpy. A small plant owned by Rio Tinto Rhodesia Ltd. has been closed since 1977. Some 90 per cent of Zimbabwe's export-import traffic is reported to be currently going through South Africa.

Zimbabwe chromites have a tendency to produce fines which "are unsuitable as a feed to electric submerged arc furnaces and (according to D. Slatter[12]) it is becoming increasingly necessary to install agglomeration facilities, such as briquetting or pelletizing, in order to utilize the increasing proportions of friable ores and fines".

REFERENCES

[1] K. Lavrencic, "Albania" in "Mining Annual Review, 1981", p. 602.

[2] Staff, "Brazil consolidates in alloys", Metal Bulletin, No. 6588, May 12, 1981, p. 21.

[3] H. Tuovinen, J. Relander and M. Honkaniemi, op. cit., p. 127-133.

[4] R.J. Wicks, "Moving Toward Stability", American Metal Market, Vol. 89, No. 243, December 17, 1981, p. 11.

[5] Staff, "Japanese Alloy Production Slips in Second Half", Metal Bulletin, No. 6583, April 24, 1981, p. 21.

[6] Staff, "SA's FeCr Sales Unveiled", Metal Bulletin, No. 6580, April 10, 1981, p. 21.

[7] A.G. Thomson, "Chromite" in "Mining Annual Review, 1981", p. 79.

[8] L.G. Bonar, "The Outlook for Selected Strategic Materials", Presentation to the Conference on Essential Resources, The Conference Board Inc., Washington, D.C., December 1, 1981, p. 9.

[9] U.S. Federal Register, Vol. 43, No. 223, November 17, 1978, p. A-54.

[10] D.R. Chase, "A Decision Not To Decide", American Metal Market, Vol. 89, No. 243, December 17, 1981, p. 10.

[11] E. Shekarchi, "Zimbabwe", MP Mineral Perspective, U.S. Bureau of Mines, August, 1981.

[12] D. Slatter, op. cit., p. 24.

APPENDIX 7

SELECTED REPORTS ON CHROMIUM PREPARED BY ENERGY, MINES AND RESOURCES CANADA AND PREDECESSOR AGENCIES

F. Cirkel, "Chrome Iron Ore Deposits of the Eastern Townships", in Summary Report of the Mines Branch of the Department of Mines for the Nine Months ending December 31, 1908, Ottawa, King's Printers, 1909, p. 41.

K.W. Downes, and D.W. Morgan, "Utilization of Low Grade Domestic Chromite". Mines Branch, Memorandum Series No. 116, 1951, 42 p.

M.A. Qayyum and D.A. Reeve, "Reduction of Chromites to Sponge Ferrochromium in Methane-Hydrogen Mixtures", Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 15, No. 3, July-Sept. 1976, p. 193-200.

D.H.H. Quon and K.E. Bell, "Degradation of Slagline Chrome-Magnesia Bricks in Secondary Steelmaking under Vacuum Environment: A Progress Report". CANMET, Minerals Research Program, Mineral Sciences Laboratories Division Report MRP/MSL 81-83 (IR), 2 p.

D. Raicevic, "Evaluation of Processes for Recovery of Chromium from Bird River Chromite Deposits", CANMET, National Mineral Research Program, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 75-8 (IR), 25 p.

D. Raicevic, "Methods for Chromium Recovery from Manitoba Bird River Chromite Deposits", Canadian Mining Journal, Vol. 98, No. 11, Nov. 1977, p. 61-68.

D. Raicevic, "Technical Review of Ore Dressing Investigations on Canadian Chromite Ores Conducted at CANMET from 1918 to 1976", CANMET Minerals Research Program, Mineral Sciences Laboratories, CANMET Report 76-39, 1976, 58 p.

G.W. Riley, "Recovery of Chromite from Reclaimed Foundry Sand", Mines Branch, Mineral Processing Division, Report IR 69-13, 8 p.

G.M. Ritcey and B.H. Lucas, "An Alkaline Roast-Leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum", CIM Bulletin, Vol. 73, No. 821, September 1980, p. 126-132.

V.B. Schneider, "The Chromium Industry - Canada and the World", Mineral Resources Division, Mineral Information Bulletin MR 61, Ottawa, 1963, 64 p.

G.P. Wigle, "Chromium Production, Trade, Consumption, Products and Product Manufacture", Mineral Resources Branch, Mineral Resources Internal Report MRI 496/71, September 1971, 33 p.

APPENDIX 8

GENERAL REFERENCES

J.D. Bateman, "Bird River Chromite Deposits, Manitoba", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 46, 1943, p. 154-183.

H.G. Brandstatter, "Extraction of Chromium from Low-grade Domestic Deposits", Ontario Research Foundation presentation to CANMET, Mineral Sciences Laboratories Seminar, March 10, 1981.

D.L. Buchanan, "Chromite Production From the Bushveld Complex", World Mining, Vol. 32, No. 10, Sept. 1979, p. 97-101.

J.F. Davies, "Chromite Deposits of Southeastern Manitoba", Canadian Mining Journal, Vol. 79, No. 4, April 1958, p. 112-114.

B.T. Denis, "The Chromite Deposits of the Eastern Townships of the Province of Quebec", Quebec Bureau of Mines, Annual Report, 1931, Part D, 106 p.

E.M. Dickson, "Chromite: Southern Africa Holds Sway", Industrial Minerals, No. 150, March 1980, p. 53-73.

M. Dorath, "Chrom", Band 14 die "Metallischen Rohstoffe", Stuttgart, Ferdinand Enk Verlag, 1962, 371 p.

F. Ergunalp, "Chromite Mining and Processing at Kavak Mine, Turkey", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 89, Part A, Oct. 1980, p. A179-A184.

N. Kacira, "Chromite Occurrences in the Canadian Appalachians", CIM Bulletin, Vol. 75, No. 837, January 1982, p. 73-82.

C.L. Kusik, H.V. Makar and M.R. Mounier, "Availability of Critical Scrap Metals Containing Chromium in the United States", U.S. Bureau of Mines, Information Circular IC 8822, 1980, 51 p.

M. Ghisler, "The Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Pre-Orogenic Archaean Stratiform Chromite Deposits at Fiskenaesset, West Greenland", Berlin, Gebrüder Born Trager, 1976, 156 p.

International Iron and Steel Institute, "Chromium and the Steel Industry", Brussels, Belgium, IISI, 1981, 114 p.

G.A. Kingston, R.A. Miller and F.I. Carillo, "Availability of U.S. Chromium Resources", U.S. Bureau of Mines, Information Circular 8465, Washington, D.C., 1970. G.P.O., 23 p.

R. Marcotte, "Gîtes et Indices de Chromite au Québec", Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Document Publique Varia, 724, Nov. 1980, 58 p.

S.V. Meskaleva, "Chromium" in Rundkvist, D.V. (ed.), "Criteria of Forecast Associations of Regions for Useful Solid Mineral Deposits", Leningrad, Nedra Publishing House, 1975.

Mining Journal Limited, "Mining Annual Review, 1981", London, Mining Journal Limited, 1981, 632 p.

J.L. Morning, "Chromium - 1977", U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Profiles MCP-1, Pittsburgh, Pa., 1977, 14 p.

J.L. Morning, N.A. Matthews, and E.C. Peterson, "Chromium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines Preprint from Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, 16 p.

T. Mutanen, "A New Type of Platinum-Bearing Chromite Ore in the Kaitelainen Mafic Layered Intrusion, Northern Finland", in D. Pretorius (ed.), "Third International Platinum Symposium, Abstracts of Papers", Pretoria, Society of Economic Geologists and the Geological Society of South Africa, 1981, p. 28.

W. Omer-Cooper and P.G. Moeskops, "Chromium and Chromite - A Review with Particular Reference to Australia", Amdel Bulletin, No. 23, Oct. 1978, p. 7-23.

A.J. Owen, "Refractories", Industrial Minerals, No. 137, Feb. 1979, p. 43-57.

J. Parry, (ed.), "Ferro Alloys: A World Survey," London, Metal Bulletin Ltd., 1979, 170 p.

M. Peatfield, and D.R.F. Spencer, "Chromite Usage in Refractory Brick Production", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 89, Part C, Dec. 1980, p. C173-C179.

E.C. Peterson, "Chromium" in U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, Vol. II, Metals and Minerals, Washington, D.C., G.P.O.

E.C. Peterson, "Chromium: Preprint from the 1980 Bureau of Mines Minerals Yearbook", Pittsburgh, Pa., U.S. Bureau of Mines, n.d., 12 p.

Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Chromium: Third Edition 1978", London, England, 161 p.

H. Saitoh, (ed.) "1979 Ferro Alloy Manual", The Tex Report Co. Ltd., Tokyo, 1979, 243 p.

F.J. Schottman, "Ferroalloys: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines, Preprint from Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, 10 p.

D. Slatter, "The Chromium Resources of Zimbabwe", University of Zimbabwe, Institute of Mining Research Report No. 36, Salisbury, 1981, 17 p.

D. Slatter, "Physical Properties of Rhodesian Chrome Ores and Their Significance in Ferrochromium Production", University of Rhodesia, Institute of Mining Research, Report No. 28, Salisbury, 1978, 75 p.

R. Stanley, "Chromium in Southern Rhodesia", Salisbury, Southern Rhodesia, Government Printer, n.d., 21 p.

A.H. Sully, "Chromium", London, Butterwors Scientific Publications, 1954, 272 p.

C.H. Stockwell, "Chromite Deposits of the Eastern Townships, Quebec", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 47, 1944, p. 71-86.

H. Tuovinen, J. Relander and M. Honkaniemi, "The Influence of Charge Quality in Charge Chrome Smelting", American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Iron and Steel Society, 36th Electric Furnace Conference Proceedings (1978), Vol. 36, Warrendale, Pa., AIME, 1979, p. 127-133.

M.J. Udy, "Chromium, Volume I" New York, Reinhold Publishing Corporation, 1956, 433 p.

_____, "Chromium, Volume II", New York, Reinhold Publishing Corporation, 1956, 402 p.

United States Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems 1975 Edition", U.S. Bureau of Mines Bulletin 667, Washington, D.C., G.P.O., 1976, 1259 p.

United States, International Trade Commission, "High-Carbon Ferrochromium: Report to the President on Investigation No. TA-203-8 under Section 203 of the Trade Act of 1974", USITC Publication No. 1185, Washington, D.C., U.S. International Trade Commission, 1981, 80 p.

United States, National Materials Advisory Board, "Contingency Plans for Chromium Utilization", Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1978, 347 p.

L. Whalley, "Chromium Substitution", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 89, Section C, Sept. 1980, p. C107-C113.

P.J. Whittaker, "Chromite Deposits in Ontario", Ontario Geological Survey, Open File Report, OFR 5306, 1980, 152 p.

September 30, 1982

BULLETIN MINÉRAL MR 196

CHROME

UN PRODUIT MINÉRAL IMPORTÉ

MARS 1982

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

Programme des Minéraux et des Sciences de la Terre
Mineral and Earth Sciences Program

Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1983

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue M38-2/196
ISBN 0-660-52069-9

Canada: 4,00 $
à l'étranger: 4,00 $

Prix sujet à changement sans avis préalable

RÉSUMÉ

Ce rapport, le troisième d'une série se rapportant aux produits minéraux importés, examine la position du Canada en regard des principaux matériaux de chrome, tels: la chromite, le ferrochrome, les autres alliages au chrome et les produits chimiques à base de chrome.

Le rapport énumère les utilisations au Canada de matériaux dérivés du chrome et passe en revue les sources actuelles d'approvisionnement pour les usagers canadiens dans un contexte international.

D'autres sources possibles d'approvisionnement, aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur du pays, sont prises en considération et les possibilités d'utiliser des matériaux de substitution dans diverses applications sont examinées. Ce rapport a pour but de servir de fondement à l'examen d'options et de recommandations quant aux politiques que devrait adopter le gouvernement.

AVANT-PROPOS

De plus en plus, les Canadiens prennent conscience de l'importance de leur patrimoine minéral. Producteur de quelque 60 produits minéraux, le Canada se place au troisième rang après les États-Unis et l'U.R.S.S. au point de vue de la valeur et de la diversité de la production minérale et il est le plus important exportateur de minéraux au monde.

Étant donné que le Canada jouit d'une position privilégiée, non seulement en raison des importantes ressources minérales qui se trouvent à l'intérieur de ses frontières mais aussi parce qu'il peut répondre à la majeure partie de ses besoins en minéraux, plusieurs Canadiens seront peut-être surpris d'apprendre que la valeur des importations de minéraux et de produits à base de minéraux s'élève à plusieurs milliards de dollars par année.

Certains de ces produits, tels que le minerai de fer et différents minéraux industriels, sont extraits du sol canadien; d'autres comme la bauxite, le chrome, le manganèse et la roche phosphatée proviennent uniquement de l'étranger.

Par suite des inquiétudes actuelles relatives à la situation internationale de plus en plus instable, le gouvernement prête maintenant plus d'attention aux produits minéraux que le Canada doit importer. D'autres pays industrialisés dont la vulnérabilité économique est beaucoup plus importante que la nôtre en raison de leur degré moindre d'autosuffisance minérale, évaluent aussi plus attentivement leur situation particulière en ce qui concerne les importations de minéraux.

Afin de déterminer la vulnérabilité du Canada face à une pénurie possible d'un produit minéral importé, il faut tenter de répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les pays d'origine de ce produit minéral?
- Par où passe-t-il pour arriver au Canada?
  Ces systèmes d'approvisionnements peuvent-ils être touchés par des soulèvements politiques ou d'autres perturbations?
- Que fabriquons-nous avec ce minéral et de quelle quantité avons-nous besoin?
- Y a-t-il d'autres sources d'approvisionnement?
- Quels sont les matériaux de substitution que l'on peut obtenir au pays ou à l'étranger?
- Quelles mesures faudrait-il prendre afin d'obtenir ce produit minéral d'une autre source ou en vue d'utiliser un substitut?
- En résumé: en ce qui concerne le minéral en question, le potentiel d'approvisionnement revêt-il une grande importance pour le Canada et que devrions-nous faire dès maintenant à ce propos?

Le présent rapport sur le CHROME - métal utilisé surtout à titre d'alliage et (sous forme de chromite) comme matériau réfractaire dans l'industrie de l'acier - porte sur l'un des très rares matériaux de base que le Canada doit absolument importer à l'heure actuelle. Ce rapport est le troisième d'une série visant à évaluer les problèmes possibles d'approvisionnements de certains matériaux non combustibles, afin de fournir des informations générales pour l'établissement d'une politique gouvernementale qui porterait notamment sur l'orientation de la recherche qui pourrait nous aider à diminuer notre dépendance à l'égard de sources étrangères.

Les personnes suivantes du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources ont collaboré à la préparation de ce rapport: MM. K.E. Bell et M.C. Campbell (Laboratoires des sciences minérales), J.D. Boyd et M.J. Godden (Laboratoires de la métallurgie physique), tous membres du personnel du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie; MM. J.M. Duke et G.B. Leech de la Commission géologique du Canada; MM. D.E.C. King, D.G. Law-West et J. Zwartendyk du Secteur de la politique minérale.

L'étude a été coordonnée par M. A.B.T. Werner de la section de l'évaluation des ressources, de la Division des ressources et de la mise en valeur du Secteur de la politique minérale.

Le sous-ministre adjoint
Secteur de la politique minérale
C.G. Miller

TABLE DES MATIÈRES

	Page
PARTIE I. PRINCIPAUX SOUS-PRODUITS DU CHROME	1
Introduction	1
Chromite	1
Chrome métal	1
Ferrochrome	3
Autres alliages au chrome	5
Produits chimiques à base de chrome	5
Produits réfractaires à base de chrome	7
Conclusions de la Partie I	8
Références	9
PARTIE II. PRINCIPAUX USAGES DE SOUS-PRODUITS DU CHROME AU CANADA	10
Chromite	10
Chrome métal	10
Ferrochrome	10
Autres alliages au chrome	12
Produits chimiques à base de chrome	12
Produits réfractaires à base de chrome	12
Conclusions de la Partie II	13
PARTIE III. SOURCES DE SOUS-PRODUITS DU CHROME AU CANADA	14
A. Intérieures	14
Chromite	14
Chrome métal	14
Ferrochrome	14
Autres alliages au chrome	14
Produits chimiques à base de chrome	14
Produits réfractaires à base de chrome	14

Page

B. Étrangères 15

Chromite 15

Chrome métal 15

Ferrochrome 18

Autres alliages au chrome 18

Produits chimiques à base de chrome 18

Produits réfractaires à base de chrome 19

Conclusions de la Partie III 19

PARTIE IV. CAPACITÉ D'APPROVISIONNEMENT À L'ÉCHELLE MONDIALE 21

Chromite 21

i) Réserves mondiales 21

ii) Capacité actuelle d'approvisionnement mondial 22

iii) Production mondiale au cours des dernières années 23

iv) Augmentations prévues de la capacité de production 23

Ferrochrome 27

i) Capacité et production mondiales au cours des dernières années 27

ii) Augmentation prévues de la capacité mondiale 27

Chrome métal 33

Conclusions de la Partie IV 37

Références 37

PARTIE V. AUTRES SOURCES POSSIBLES D'APPROVISIONNEMENT 38

Chromite 38

i) En provenance de producteurs canadiens possibles 38

a) Bird River, Manitoba 39
b) Cantons de l'Est, Québec 39
c) Autres régions 40

ii) En provenance de sources étrangères actuelles et éventuelles 41

Ferrochrome 42

En provenance de producteurs canadiens possibles 42

	Page
Produits chimiques à base de chrome	43
En provenance de producteurs canadiens possibles	43
Produits réfractaires à base de chrome	43
En provenance de producteurs canadiens possibles	43
Conclusions de la Partie V	43
Références	44
PARTIE VI. MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION	46
Chrome métal	46
Ferrochrome	46
Autres alliages au chrome	46
Produits chimiques à base de chrome	47
Produits réfractaires à base de chrome	47
Conclusions de la Partie VI	47
PARTIE VII. RÉSUMÉ	48
Utilisations au Canada	48
Sources actuelles	48
Approvisionnements mondiaux	49
Sources intérieures possibles	49
Substituts	50
Stocks	50
Références	51
PARTIE VIII. RECOMMANDATIONS	52

ANNEXES

1	Prix annuel moyen de chromites sélectionées, 1970 à 1980	57
2	Prix du chrome métal et de différentes catégories de ferrochrome	58
3	Prix des différents produits chimiques à base de chrome	59

Page

4 Tarifs douaniers canadiens sur les matériaux de chrome importés 60

5 Chromite, révisions pays par pays 61

Albanie 61
Brésil 61
Cuba 61
Chypre 61
Finlande 61
Grèce 62
Inde 62
Iran 62
Madagascar 62
Pakistan 62
Philippines 62
République d'Afrique du Sud 63
Soudan 65
Turquie 65
États-Unis 66
U.R.S.S. 66
Zimbabwe 67
Autres pays 68

Références 68

6 Ferrochrome, révisions pays par pays 71

Albanie 71
Brésil 71
Chine 71
Finlande 71
France 71
Inde 71
Japon 71
Mexique 72
Norvège 72
Philippines 72
République d'Afrique du Sud 72
Suède 73
Turquie 73
États-Unis 73
U.R.S.S. 73
Yougoslavie 73
Zimbabwe 73

Références 74

7 Rapports sélectionés sur le chrome, préparés par Énergie, Mines et Ressources Canada et les organismes qui l'ont précédé 75

8 Références générales 76

TABLEAUX

1 Spécifications traditionnelles à l'égard des catégories de minerai de chrome 2

2 Catégories courantes de chrome métal et d'alliages au ferrochrome 3

		Page
3	Formule et teneur en chrome de certains produits chimiques à base de chrome	6
4	Consommation de chrome au Canada, 1970, 1975 à 1980	10
5	Importations de chrome au Canada, 1979 et 1980	16
6	Principales sources de sous-produits de chrome au Canada	19
7	Réserves mondiales de chromite (janvier 1980)	22
8	Capacité nominale de production de chromite	23
9	Principaux producteurs mondiaux de chromite	24
10	Production mondiale de chromite, par pays, pour des années sélectionées, 1960 à 1980	25
11	Augmentations prévues de la capacité mondiale de production de chromite	26
12	Ferrochrome: principales usines de production à travers le monde, capacité estimative	28
13	Production de ferrochrome, par pays, 1977 à 1980	33
14	Augmentations prévues de la capacité mondiale de production de ferrochrome	34
15	Capacité mondiale de production de chrome métallique en septembre 1977	35
16	Production de ferrochrome-silicium, par pays, 1977 à 1980	36
17	Mesures actuellement possibles à prendre en cas d'interruption des approvisionnements de matériaux à base de chrome	53
A-1	Statut des stocks de réserves de chrome des États-Unis au 30 novembre 1980	66
A-2	Chromites de Great Dyke	67

FIGURES

1	Canada: Consommation de ferrochrome, 1960 à 1979 et projections jusqu'en 1990	11
2	Principaux producteurs de chromite, 1980	17
3	Principaux producteurs de ferrochrome, 1980	32
A-1	Afrique Méridionale: Mines et Installations de chrome	64

PARTIE I. PRINCIPAUX SOUS-PRODUITS DU CHROME

Introduction

Le chrome est essentiel à l'industrie moderne puisqu'il entre dans la fabrication de nombreux produits comme les aciers inoxydables à haute résistance et les aciers résistants à l'oxydation, les produits chimiques utilisés pour le tannage du cuir et les produits réfractaires utilisés dans les fours métallurgiques. L'industrie utilise le chrome sous différentes formes: la chromite, le chrome métal, le ferrochrome, les produits chimiques à base de chrome, les catalyseurs, les briques réfractaires et les sables de fonderie.

Chromite

Même si le chrome est un élément constitutif d'un grand nombre de composés présents à l'état naturel, la chromite est le seul minéral exploité à l'échelle commerciale. Si la formule chimique de la chromite pure est $Fe^{2+}Cr_2O_4$, le nom est généralement appliqué aux minéraux à forte teneur en chrome du groupe spinelle; il s'agit de solutions solides dont la formule générale est $(Fe^{2+},Mg)\ (Cr,Al,Fe^{3+})_2O_4$. Ainsi, la chromite naturelle présente de nombreuses compositions chimiques indiquant bien les conditions géologiques et le milieu de formation. La composition de la chromite d'un gisement donné permet de déterminer avec beaucoup de précision la rentabilité commerciale et les applications possibles du minerai. Les prix de variétés sélectionnées sont indiqués à l'annexe 1.

Les catégories de minerai de chromite ont toujours été classées en fonction des utilisations industrielles prévues, c'est-à-dire comme matériau métallurgique, matériau réfractaire, produit chimique ou matériau de catégorie de fonderie (tableau 1). Cependant, des changements ont été apportés à la technologie de production du ferrochrome et à l'utilisation du ferrochrome aux fins de l'élaboration de l'acier; ces spécifications doivent être conformes aux pratiques courantes qui permettent un certain degré de substitution entre les matériaux classés dans les quatre catégories.

La nomenclature actuelle indique plutôt la composition de la chromite que son utilisation. Les minerais à forte teneur en chrome dont le rapport Cr/Fe est élevé trouvent surtout des applications en métallurgie notamment dans la fabrication du ferrochrome. Les chromites à forte teneur en fer qui auparavant étaient surtout utilisées pour la production de produits chimiques à base de chrome servent maintenant de plus en plus à la fabrication de ferrochrome de qualité inférieure; l'industrie utilise également cette catégorie de minerai pour fabriquer des produits réfractaires et comme sables de fonderie. Les chromites à teneur élevée en aluminium contenant relativement peu de fer et de silice entrent surtout dans la fabrication de matériaux réfractaires comme briques de magnésite- chromite et de chromite-magnésite.

Chrome métal

Les procédés électrolytique ou pyrométallurgique[1] permettent d'obtenir du chrome métal présentant différents degrés de pureté. Les prix du chrome métal de différentes spécifications sont indiqués à l'annexe 2.

Le procédé pyrométallurgique de réduction de l'oxyde de chrome obtenu par traitement chimique avec de l'aluminium, permet d'obtenir un métal de 97 à 99 % pur

Tableau 1

Spécifications traditionnelles à l'égard des catégories de minerai de chrome

		Métallurgique	Réfractaire	Chimique	De fonderie
Rapport Cr/Fe	(minimum)	3:1	*	*	*
Cr_2O_3	(minimum)	48,0 %	31,0 %	44,0 %	44,0 %
Fe_3O_3	(maximum)	*	15,0 %	*	26,0 %
$CrO_3 + Al_2O_3$	(minimum)	*	58,0 %	*	*
SiO_2	(maximum)	*	6,0 %	*	4,0 %
CaO	(maximum)	*	1,0 %	*	0,5 %
S	(maximum)	0,08 %	*	*	*
P	(maximum)	0,04 %	*	*	*
Caractéristiques physiques		De préférence dur et grumeleux	Friable	De préférence dur et grumeleux	Grains d'un calibre particulier

Sources des données: Énergie, Mines et Ressources Canada; W. Omer-Copper, et P.G.G. Moeskops, "Chromium and Chromite - A Review with Particular Reference to Australia", Amdel Bulletin, N°. 23, octobre 1978, pp. 7-23; et D. Raicevic, "Methods for Chromium Recovery from Manitoba Bird River Chromite Deposits", Canadian Mining Journal, vol. 98, N°. 11, novembre 1977, pp. 61-68.

* données non disponibles

dont les principales impuretés sont de l'aluminium, du fer, du silicium et un peu de soufre, du carbone et de l'azote. La réduction de l'oxyde de chrome avec du silicium dans un four à arc électrique permet d'obtenir un métal à teneur plus faible en aluminium mais plus élevée en silicium. Par contre, la réduction de l'oxyde avec du carbone dans un creuset réfractaire approprié où la pression est moins élevée permet d'obtenir une variété de métal à faible teneur en carbone, en oxygène, en azote, en silicium et en fer.

Les méthodes électrolytiques font appel à l'extraction par voie électrolytique de l'alun de chrome et de l'acide chromique. Ces deux méthodes permettent d'obtenir un métal plus pur que par le procédé pyrométallurgique. Dans certains cas le métal peut être soumis à un affinage plus poussé pour en éliminer l'oxygène.

Le chrome métal entre dans la fabrication de certains alliages à haute teneur en chrome et de "superalliages" riches en nickel et en cobalt; il est également utilisé pour "rétablir" la teneur en chrome des aciers à base de chrome produits avec du ferrochrome.

Ferrochrome

Le terme "ferrochrome" désigne généralement un certain nombre d'alliages-mères de différentes qualités[2] y compris les alliages de ferrochrome-silicium, de ferrochrome à forte teneur en carbone, de ferrochrome à faible teneur en carbone et de chrome de charge; (tableau 2). Ces alliages sont utilisés pour assurer la teneur en chrome des aciers inoxydables dont la résistance à la corrosion est obtenue par une teneur minimale de 12 % de chrome; ces aciers peuvent en contenir jusqu'à 30 % pour obtenir des combinaisons particulières de résistance à l'oxydation et à la corrosion à des températures élevées. Les prix de différentes catégories sont indiqués à l'annexe 2.

Tableau 2

Catégories courantes de chrome métal et d'alliages au ferrochrome

Catégorie	Chrome	Silicium	Carbone	Soufre (teneur maximale)	Phosphore (teneur maximale)	Autres
	(% de la composante principale)[1]					
Chrome métal						
Électrolytique	99,3[2]	.01[3]	.02[3]	.03	--	(.05[3] d'oxygène (.05[3] d'azote
Aluminothermique	99,3[2]	.15[3]	.05[3]	.015	.01	(.2[3] d'oxygène (.3[3] d'aluminium
Ferrochrome-silicium						
Teneur 36/40	35-37	39-41	.05[3]	--	--	--
Teneur 40/43	39-41	42-45	.05[3]	--	--	--
Ferrochrome						
Forte teneur en carbone	66-70	1-2	5-6,5	.04	.03	--
Faible teneur en carbone						
0,025 % de carbone	67-75	1[3]	.025[3]	.025	.03	--
0,05 % de carbone	67-75	1[3]	.05[3]	.025	.03	--
Chrome de charge						
50-55 % de chrome	50-55	3-6	6-8	.04	.03	--
66-70 % de chrome	66-70	3[3]	5-6,5	.04	.03	--

Source des données: "Table 2 - Composition of typical chromium alloys and chromium metal": Mineral Facts and Problems, édition de 1975. U.S. Bureau of Mines, Bulletin 667, p. 243.

[1]La différence entre le total des pourcentages indiqués et la quantité maximale de 100 % représente surtout la teneur en fer. [2] = minimum.
[3] = maximum

--: non indiqué au tableau de la source

Le groupe des ferrochromes englobe:

(a) le **ferrochrome-silicium** que l'on peut obtenir soit au cours d'une seule étape de traitement (par la fusion directe d'une charge mélangée au préalable de chromite de qualité inférieure, de silice et de coke), soit par une méthode faisant appel à un procédé comprenant deux étapes de traitement soit la production d'un ferrochrome à teneur élevée en carbone, qui est ensuite fondu avec du silice et du coke;

(b) le **ferrochome à teneur élevée en carbone** obtenu par la réduction du chromite de qualité supérieure (en morceaux, contenant plus de 46 % de Cr_2O_3 dans un rapport minimal chrome et fer de trois pour un et une teneur maximale de 10 % en silice) avec du coke dans un four électrique;

(c) le **chrome à faible teneur en carbone** obtenu à partir de minerai de chromite de qualité inférieure d'abord traité au cours de la fusion du minerai par un procédé en deux étapes pour obtenir du ferrochrome à teneur élevée en silicium (pratiquement exempt de carbone) qui est ensuite affiné pour en éliminer presque tout le silicium.

Le procédé à deux étapes augmente d'environ 50 % l'énergie nécessaire pour une unité de chrome, ce qui élève considérablement le coût. D'autres méthodes (particulières) de fabrication de ferrochrome à faible teneur en carbone ont également été mises au point. Par exemple, l'Union Carbide Corporation a perfectionné la méthode Simplex qui permet d'obtenir du ferrochrome à très faible teneur en carbone (0,01 %) par un procédé à l'état solide en chauffant le ferrochrome à teneur élevée en carbone avec du ferrochrome oxydé sous vide poussé, pour ainsi éliminer le carbone sous forme de monoxyde de carbone;

(d) le **"chrome de charge"** - il s'agit en réalité d'un alliage-mère à teneur élevée en carbone et faible en chrome utilisé comme charge dans un four servant à l'élaboration de l'acier; ce chrome de charge est obtenu du traitement de chromites chimiques et métallurgiques de catégorie inférieure (44 % de Cr_2O_3, rapport Cr/Fe de 1,5). Cet alliage renferme de 53 à 58 % de chrome comparativement à 70 % dans d'autres catégories plus polyvalentes.

Pour la fabrication d'alliages de haute résistance et d'aciers inoxydables, les techniques traditionnelles de l'élaboration de l'acier ont toujours nécessité l'utilisation de ferrochrome à faible teneur en carbone ou même de chrome métal. Cependant, vers la fin des années 60 une nouvelle technique d'élaboration de l'acier appelée D.A.O. (décarburation à l'argon et à l'oxygène), mise au point par l'Union Carbide Corporation permet d'éliminer le carbone de l'acier sans qu'il y ait risque d'oxydation et perte de chrome au niveau des scories. Cette technique permet aux fabricants d'acier d'utiliser du ferrochrome à faible teneur en carbone qui est moins coûteux et, du même coup, de réduire leur dépendance à l'égard des fournisseurs de produits spéciaux. Cette technique, maintenant bien connue, a permis de diminuer l'utilisation de ferrochrome à faible teneur en carbone d'où une diminution de la demande de la chromite utilisée pour la fabrication de ce ferrochrome. Cependant, il existe encore différentes formes d'utilisation du ferrochrome à faible teneur en carbone puisqu'il sert d'additif final pour corriger la teneur en chrome et qu'il entre dans la fabrication de superalliages.

Auparavant, seuls de gros morceaux de minerai de catégorie supérieure étaient utilisés pour la production de ferrochrome dans des fours à arc électrique. Cependant, la société Outokumpu Oy[3] a produit du chrome de charge à l'échelle commerciale à partir de concentrés de minerais de catégorie inférieure traités dans des fours de charge.

Autres alliages au chrome

Le chrome est ajouté en quantités plus ou moins grandes à différents autres métaux pour fabriquer des produits spéciaux.

Les alliages de chrome-aluminium (0,1 à 0,3 % de Cr) entrent dans la fabrication de pièces forgées, de feuilles de métal et de tubes de résistance moyenne à la tension et grande à la corrosion. Les alliages de chrome-aluminium trouvent également des applications dans la fabrication de réservoirs de combustibles, de matériel de transport, de matériaux de toiture, d'appareils ménagers, de meubles et d'éléments de structure d'averonefs.

Le chrome est également ajouté en grandes quantités (plus de 20 % de Cr) aux alliages dans lesquels le cobalt est la principale composante avec le molybdène, le tungstène ainsi qu'un peu de carbone. Ces alliages trouvent de nombreuses applications notamment dans la fabrication d'outils de coupe pour des tours, de matériaux de rechargement dur, d'aimants permanents et d'alliages résistants à des températures élevées.

Le chrome, ajouté en petites quantités (de 0,4 à 1,0 % de Cr) permet d'améliorer les propriétés mécaniques et électriques du cuivre. Des alliages de chrome-cuivre peuvent être transformés en tiges et fils de haute résistance à la traction de 483 et 621 MPa respectivement.

Les alliages de chrome-nickel et de chrome-fer-nickel (contenant de 25 à 30 % de Cr) peuvent être classés en fonction de leurs propriétés physiques suivantes: résistance à la chaleur, résistance à la corrosion et résistance à des températures élevées. Les alliages résistants à la chaleur sont habituellement utilisés comme éléments chauffants dans des appareils électriques notamment les cuisinières, les grille-pain, les fer à repasser et les chauffe-eau. Des agents secondaires d'alliages comme le cuivre, le molybdène ou le tungstène sont souvent ajoutés à un alliage de base au chrome-fer-nickel pour en améliorer la résistance à la corrosion tandis que l'addition d'aluminium, de cobalt, de niobium et de titane en améliore la résistance à des températures élevées.

L'addition de chrome (jusqu'à 5 % de Cr) au titane permet de presque doubler la résistance à la traction du titane métal pur. Cette résistance peut être améliorée davantage en ajoutant 0,25 % de Cr et 0,20 % de N. En raison de leur haute résistance et de leur légèreté, les alliages à base de titane sont utilisés comme éléments structuraux et non structuraux dans l'industrie aérospatiale.

Produits chimiques à base de chrome

Le chromate de sodium et le bichromate de sodium sont les principaux produits chimiques à base de chrome obtenus directement du minerai de chromite qui, pour cette application, doit avoir la plus haute teneur possible en chrome et la plus faible en silicium et alumine; d'autres composés à base de chrome peuvent être fabriqués à partir de ces produits chimiques. Le tableau 3 donne la liste des composés principaux et secondaires fabriqués à l'échelle commerciale. Les prix des différents produits chimiques à base de chrome sont énumérés à l'annexe 3.

Le chromate et le bichromate de sodium sont obtenus du grillage de la chromite dans des fours à bain de sel, une méthode qui consiste en un mélange de chromite finement broyée, de carbonate de sodium anhydre et de la chaux dans le four alimenté au pétrole ou au coke pour obtenir des sels solubles. On obtient ainsi un produit qui est ensuite lixivié pour en extraire le chromate de sodium. Obtenu directement par lixiviation, le chromate de sodium est vendu sous forme de chromate de sodium anhydre ou hydraté. Pour obtenir du bichromate de sodium, la solution

lixiviée est concentrée et ensuite traitée avec un acide sulfurique ou du bioxyde de carbone pressurisé afin de transformer par solution le chromate de sodium en bichromate. Le refroidissement de la solution provoque la cristallisation du dihydrate de bichromate de sodium.[4] Ce composé est vendu sous forme de catégories technique et chimique pures ainsi que de solution (70 %). Le bichromate de sodium est réduit en sulfate de chrome basique utilisé comme agent de tonnage par l'industrie du cuire.

TABLEAU 3

Formule et teneur en chrome de certains produits chimiques à base de chrome

		Chrome (%)	Oxyde chromique (%)[1]
Chromate de sodium	Na_2CrO_4	32	47
Chromate de potassium	K_2CrO_4	27	39
Bichromate de sodium dihydrate	$Na_2Cr_2O_7.2H_2O$	35	51
Bichromate de sodium (anhydre de sodium)	$Na_2Cr_2O_7$	40	58
Bichromate de potassium	$K_2Cr_2O_7$	35	52
Trioxyde de chrome (acide chromique)	CrO_3	52	..
Oxyde chromique	Cr_2O_3	68	100
Hydroxyde chromique	$Cr(OH)_3$	50	74
Chromate de plomb (jaune de chrome)	$PbCrO_4$	16	24
Chromate de zinc[2]	$ZnCrO_4$	29	42
Pigment de chromate de zinc	$_4ZnO.K_2O_4.CrO_3.3H_2O$	23	34
Sulfate chromique	$Cr_2(SO_4)_3.18H_2O$	15	21
Sulphate de chrome basique	$Cr(OH)SO_4$	31	46
Alun de chrome potassium	$KCr(SO_4).12H_2$	10	15
Alun de chrome d'ammonium	$NH_4Cr(SO_4)_2.12H_2O$	11	16

Source des données: "Tableau 14, Formule, poids moléculaires et teneur en chrome de certains produits chimiques à base de chrome", Roskill The Economics of Chromium: 3e édition , 1978, p. 22.

[1]A l'unité près. [2]Même si l'on fait souvent allusion au chrome de zinc et que des données commerciales sont indiquées pour quelques pays, il s'agit probablement de pigment de chromate de zinc.
..: non disponible.

Il sert également à la fabrication d'une variété de pigments, surtout du vert d'oxyde chromique qui est le pigment vert le plus stable connu jusqu'à maintenant. Ce produit est utilisé dans les ciments de coloration ainsi que dans les peintures de camouflage.

Voici quelques-uns des autres pigments de chrome importants: le jaune de chrome obtenu essentiellement à partir de chromate de plomb $PbCrO_4$ utilisé sur le marché pour obtenir des tons variant du jaune très pâle à orange foncé; le jaune de zinc, le chromate de zinc de potassium basique hydraté qui n'a pas son égal comme inhibiteur de corrosion sur les métaux légers et les aciers (un ingrédient utilisé dans les bains de trempe des carrosseries automobiles); l'orange de molybdate, un mélange de chromate de plomb et de sel de molybdène; le vert de chrome, un mélange de chromate de plomb et de bleu de fer. Ces deux dernières variétés de pigments sont utilisées en raison de leur pouvoir couvrant par opacité.[5]

L'acide chromique constitue la matière première de base en galvanoplastie au chrome utilisé à des fins décoratives et pour offrir une meilleure résistance à la corrosion.

Produits réfractaires à base de chrome

Le chrome utilisé sous forme de minerai de chromite trouve de grandes applications dans la fabrication de produits réfractaires en raison de quelques-unes de ses propriétés physiques comme son point de fusion élevé, son degré moyen d'expansion thermique, sa stabilité cristalline à des températures élevées et son comportement chimique neutre. Les spécifications à l'égard de la chromite de catégorie réfractaire ne sont pas aussi rigoureuses que celles des autres catégories de minerai. Le minerai doit contenir en moyenne près de 35 % de Cr_2O_3, moins de 12 % de Fe et 6 % de Si et 60 % de $Cr_2O_3 + Al_2O_3$ et doit être constitué de gros morceaux durs.[6] Cependant, les fines de chromite conviennent également à la fabrication de briques de chromite-magnésite et de ciment de briques réfractaires.

La méthode de fabrication de briques réfractaires à partir de chromite a subi de profondes modifications ces dernières années. En effet, les briques ne sont plus faites exclusivement à partir de chromite mais bien d'un mélange de chromite et de magnésite plus stable et plus résistant à l'effritement. Compte tenu de la diminution des stocks de minerai de chrome réfractaire de catégorie supérieure, il a fallu autoriser une certaine souplesse au niveau des spécifications. Cependant, avec les changements apportés à la technologie de l'élaboration de l'acier au cours de la même période, des spécifications plus rigoureuses ont dû être exigées à l'égard des produits réfractaires. Ces conditions ont entraîné une forte diminution de l'utilisation du minerai de chrome pour la fabrication de produits réfractaires.[7] Au Japon, la consommation de minerai de chrome est passée de 1,49 kg par tonne d'acier à 0,57 kg entre 1967 et 1977.

La chromite est utilisée avec de la magnésie dans la fabrication de produits réfractaires, afin d'obtenir des briques de chrome-magnésite contenant 70 % de chromite et des briques de magnésite-chromite contenant de 30 à 40 % de chromite. La chromite est sélectionnée d'après certains facteurs chimiques, minéralogiques et physiques telle la forme des particules.[8] La teneur en silice, en oxyde de fer, en alumine et en oxyde chromique est également un autre facteur important. C'est la liaison entre la silice et la chromite qui entre en ligne de compte dans la fabrication de briques de liaison. Cependant, pour satisfaire des exigences plus rigoureuses, les briques de liaison directe sont de plus en plus utilisées. La liaison directe entre la chromite et la périclase est assurée par l'addition d'un peu de silice (2 % de SiO_2). Par conséquent, cette nouvelle méthode nécessite maintenant l'utilisation de chromite de meilleure qualité.

Les matériaux réfractaires à base de chrome sont vendus sous différentes formes, la plus populaire étant la brique moulée et les profilés; d'autres formes comprennent les plastiques, les ciments et les mortiers réfractaires. Ces produits sont utilisés comme revêtement dans les fours métallurgiques de traitement de minéraux ferreux et non ferreux ainsi que dans les fours de fusion du verre et les fours à ciment.

Au cours des deux dernières décennies, le sable de chromite a été de plus en plus utilisé dans les moules de pièces d'acier lourdes. Grâce à ses propriétés réfractaires et à sa résistance à la chaleur, il donne un meilleur rendement que le sable de silice tout en étant moins cher que le sable de zircon.

Conclusions de la Partie I

L'industrie utilise six principaux groupes de produits de chrome: la chromite, le chrome métal, le ferrochrome, d'autres alliages au chrome, des produits chimiques à base de chrome et des produits réfractaires à base de chrome.

Le minerai de chromite a toujours été subdivisé en catégories: métallurgique, réfractaire, chimique et de fonderie selon différents critères.

Dans le cas de la chromite utilisée pour la fabrication du ferrochrome, la nouvelle technique de décarburation à l'argon et à l'oxygène (D.A.O.) employée pour l'élaboration de l'acier a pratiquement fait disparaître toutes les nuances entre les catégories métallurgique et chimique. Il est maintenant possible d'utiliser pour la fabrication du ferrochrome, de la chromite de catégorie inférieure à forte teneur en fer qui, auparavant, était pratiquement limitée à la fabrication de produits chimiques à base de chrome.

Le chrome métal est utilisé comme additif surtout:

i) dans les superalliages et

ii) pour compléter la teneur en chrome nécessaire permettant ainsi aux fabricants d'acier inoxydable d'utiliser du ferrochrome moins coûteux qui répond quand même aux exigences concernant la teneur en chrome nécessaire dans leurs produits.

Le terme "ferrochrome" est de façon générale appliquée à un certain nombre d'alliages-mères à teneur en fer et en chrome utilisés surtout pour la fabrication d'alliages de haute résistance et d'aciers inoxydables. D'autres alliages au chrome trouvent des applications spéciales dans des domaines où les matériaux doivent avoir une bonne résistance à la chaleur, à la corrosion et à des températures élevées.

Les produits chimiques à base de chrome, fabriqués à partir de la chromite, servent surtout au chromage et entrent également dans la fabrication de pigments et d'agents de tannage.

Les produits réfractaires à base de chromite sont depuis longtemps utilisés dans les fours de métaux ferreux et non ferreux, dans les fours à ciment et dans les fonderies. Cependant, les quantités de chromite utilisées dans la fabrication de briques réfractaires ont été modifiées considérablement ces dernières années, entraînant ainsi une diminution de la consommation globale de chromite pour la fabrication de produits réfractaires.

RÉFÉRENCES

[1] Voir M. Anthony, P.E. Johnson, et D.A. Langford, The Manufacture and Uses of Chromium Metals, document présenté au colloque sur le chrome organisé par l'Institution of Mining and Metallurgy en décembre 1979.

[2] Voir J.L. Morning, N.A. Matthews et E.C. Peterson, "Chromium: chapitre de la publication Mineral Facts and Problems, édition de 1980", United States Bureau of Mines, prétirage du Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, pp. 16.

[3] H. Tuovinen, J. Relander et M. Honkaniemi, "The Influence of Charge Quality in Charge Chrome Smelting", American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Iron and Steel Society, 36th Electric Furnace Conference Proceedings, vol. 36, (1978), pp. 127-133.

[4] Ibid., p. 21.

[5] M.J. Udy, "Chromium: Volume 1, Chemistry of Chromium and Its Compounds", 1956, pp. 327-388.

[6] Ibid.

[7] A.J. Owen, "Refractories", Industrial Minerals , N° 137, Février 1975, pp. 43-57.

[8] M. Peatfield et D.R.F. Spencer, "Chromite Usage in Refractory Brick Production", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy , vol. 89, partie C, décembre 1980, pp. C173-C179.

PARTIE II. PRINCIPAUX USAGES DE SOUS-PRODUITS DU CHROME AU CANADA

Chromite

La chromite est utilisée par quatre sociétés canadiennes, la division Canadian Refractories de la Dresser Canada, Inc., la Didier Corporation de Produits Réfractaires, la General Refractories Co. of Canada Ltd., et la division Kaiser Refractories Company de la Kaiser Aluminium & Chimique du Canada Limitée, pour fabriquer différents produits réfractaires comme la brique, le mortier et du pisé.

Avant 1974, l'Union Carbide du Canada Limitée utilisait de la chromite pour fabriquer du ferrochrome à son usine de Welland, Ontario.

Les données sur la consommation du cours de certaines années comprises entre 1970 et 1980 sont fournies au tableau 4.

Chrome métal

Au Canada, le chrome métal est avant tout utilisé comme élément d'alliages dans la production d'acier fortement allié et d'alliages à base de nickel et de cobalt dans lesquels un additif à forte teneur en chrome est une composante essentielle. Comme les producteurs d'alliages de cuivre à teneur en chrome, d'alliages d'aluminium-magnésium à teneur en chrome et d'aluminium-magnésium-silicium à teneur en chrome, de matériaux de rechargement dur et de pièces coulées résistant à l'abrasion, les sociétés de fonte d'acier inoxydable utilisent à l'occasion de petites quantités de chrome métal.

Ferrochrome

Les industries canadiennes utilisent trois catégories de ferrochrome: le ferrochrome de charge, le ferrochrome à teneur élevée en carbone et le ferrochrome à faible teneur en carbone. Les données sur la consommation globale sont fournies au tableau 4 et illustrées à la figure 1.

Tableau 4

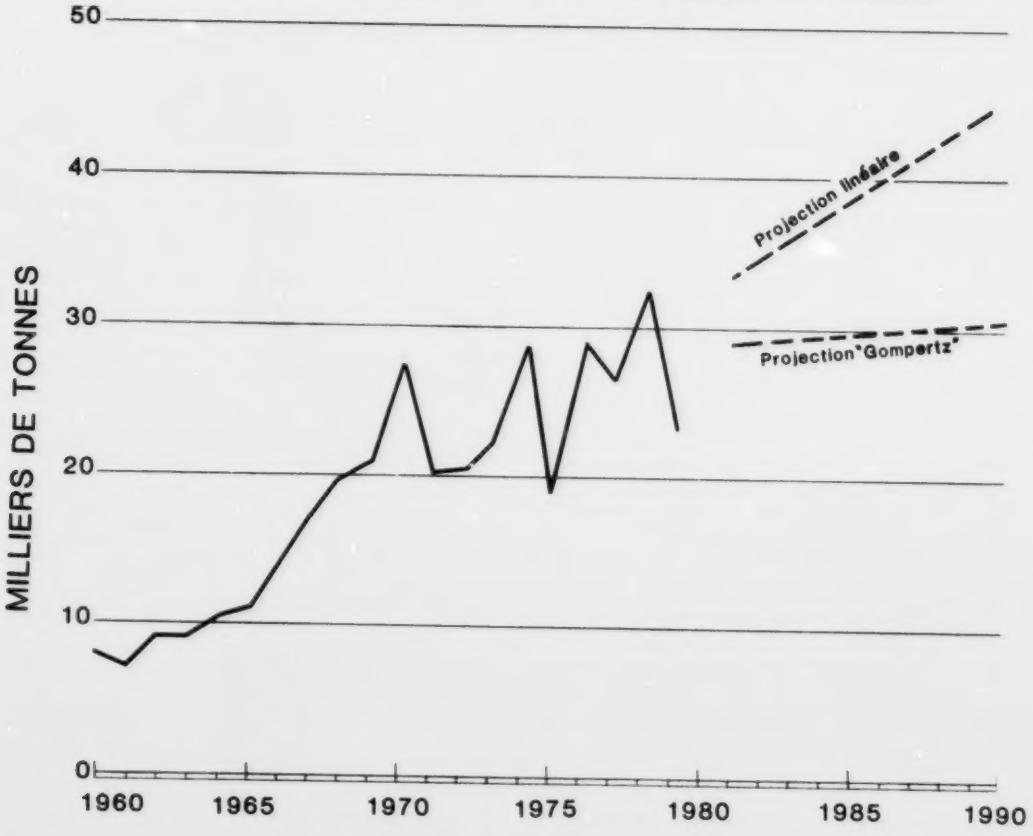
Consommation de chrome au Canada
1970, 1975 à 1980

	Consommation[1]	
	Chromite	Ferrochrome
	(tonnes)	
1970	56 212	28 356
1975	36 790	18 417
1976	30 783	32 177
1977	30 299	28 435
1978	27 472	36 572
1979	27 205	25 729
1980	27 900	..

Sources: Énergie, Mines et Ressources Canada; Statistique Canada.

[1] Poids brut
..: non disponible

CANADA: CONSOMMATION DE FERROCHROME 1960 à 1979, ET PROJECTIONS JUSQU'EN 1990



Nota: Consommation estimative de 1980, incluse aux fins de projections

L'Atlas Steels Division de Rio Algom Limitée de Welland, Ontario (principal fabricant d'acier inoxydable au Canada) est de loin le plus grand consommateur de ferrochrome au pays. Cette société utilise surtout du chrome de charge et du ferrochrome à teneur élevée en carbone comme additif de base dans ses mélanges en fusion puis du ferrochrome à faible teneur en carbone comme additif final. De plus, elle obtient une faible proportion d'unités de chrome à partir des rebuts d'acier inoxydable achetés. L'Atlas produit une grande variété d'aciers inoxydables contenant entre 12 et 27 % de chrome ainsi que des aciers à outil (y compris des aciers pour la fabrication de machinerie, de matériel d'exploitations minières et des aciers destinés à des fins spéciales) contenant jusqu'à 5 % de chrome. Les fabricants de fonte et d'autres produits de fonderie utilisent du ferrochrome à teneur élevée et faible en carbone. La Deloro Stellite Canada Limited utilise du ferrochrome à teneur élevée et faible en carbone pour produire des pièces coulées de superalliages.

Autres alliages au chrome

La Burnstein Castings Ltd. de St. Catharines, Ontario, et d'autres fonderies utilisent de petites quantités d'alliages-mères de cuivre-chrome pour produire des pièces coulées en alliages de cuivre contenant du chrome.

Les alliages de cuivre-chrome contenant moins de 1 % de chrome trouvent des applications dans le secteur de l'électricité où il faut des produits de haute résistance. Un autre alliage de cuivre contenant 30 % de nickel et jusqu'à 3 % de chrome est utilisé pour la fabrication de matériel marin résistant à la corrosion.

Les fabricants, particulièrement ceux de matériel de transport utilisent des alliages d'aluminium-magnésium à teneur en chrome et d'aluminium-magnésium-silicium à teneur en chrome. L'industrie aéronautique du Canada utilise, quant à elle, des alliages de haute résistance à teneur en chrome, sous forme de plaques ou d'extrusions, de même que des alliages de titanium à base de chrome. Les plaques et extrusions obtenues à partir de cet alliage entrent dans la fabrication de turbines.

Les matériaux de rechargement dur et les pièces coulées à base de chrome et résistant à l'abrasion que produit la Deloro Stellite servent à la fabrication de matériel agricole et minier.

Produits chimiques à base de chrome

L'industrie canadienne du cuir utilise des produits chimiques à base de chrome comme agent de tannage. La plupart des tanneries canadiennes disposent d'approvisionnements de bichromate de sodium ou de sulfate de chrome basique représentant leurs besoins pour environ une semaine.

Les fabricants de pigments utilisent du bichromate de sodium pour produire une grande variété de pigments de chrome. En général, la plupart des sociétés disposent de réserves pour deux à quatre semaines.

Les industries canadiennes utilisent de petites quantités d'autres produits chimiques à base de chrome comme l'acide chromique et l'oxyde de chrome pour la galvanoplastie ainsi que pour obtenir des aciers exempts d'étain.

Produits réfractaires à base de chrome

Nos industries utilisent des produits réfractaires obtenus de différents mélanges de chromite et de magnésite pour fabriquer du fer et de l'acier, du ciment portland, du verre et des métaux non ferreux.

L'industrie du fer et de l'acier qui utilise des produits réfractaires à base de chrome comme revêtement dans les fours Martin, au niveau des scories, est le plus grand consommateur de produits réfractaires à base de chrome.

Les fonderies canadiennes consomment de grandes quantités de sables de chromite.

Conclusions de la partie II

La division Canadian Refractories de la Dresser Canada, Inc., la Didier Corporation de Produits Réfractaires, la General Refractories Co. of Canada Ltd. et la division Kaiser Refractories de la Kaiser Aluminium & Chimique du Canada Limitée utilisent de la chromite importée pour fabriquer leurs produits réfractaires. De petites quantités de chrome métal importé entrent dans la fabrication des aciers inoxydables et des aciers spéciaux.

Le ferrochrome importé est un élément essentiel à la production de l'acier inoxydable et à la fabrication de la fonte et d'autres produits de fonderie. La Deloro Stellite utilise le ferrochrome pour obtenir des superalliages.

Une faible proportion d'unités de chrome actuellement consommées par les fabricants d'acier canadiens est obtenue à partir du chrome contenu dans les rebuts d'acier inoxydable achetés.

De petites quantités d'alliages-mères de ferrochrome non ferreux importés entrent dans la fabrication de pièces coulées à partir d'alliages de cuivre contenant du chrome, dans la fabrication d'accessoires électriques, de matériel marin, de matériaux de rechargement dur de matériel minier et agricole; l'industrie aérospatiale utilise également ces alliages-mères.

Les industries du tannage, des pigments, de la galvanoplastie et des aciers exempts d'étain doivent importer certains produits chimiques à base de chrome.

Les produits réfractaires à base de chrome fabriqués au Canada à partir de la chromite importée, de sables de fonderie et d'un peu de produits réfractaires à base de chrome importé et de briques sont utilisés par les industries canadiennes de fabrication de fer et d'acier, de ciment portland, du verre et de métaux non ferreux.

Parmi tous ces différents matériaux, le ferrochrome est de loin le produit le plus important pour notre économie. Par contre, la chromite utilisée pour la fabrication de produits réfractaires, de produits chimiques à base de chrome, de chrome métal et d'autres alliages à teneur en chrome est d'une importance limitée pour nos industries.

PARTIE III. SOURCES DE SOUS-PRODUITS DU CHROME AU CANADA

A. Intérieures

Chromite

Le Canada a cessé de produire de la chromite en 1949 avec la fermeture des petites mines exploitées dans les Cantons de l'Est, au Québec.

Chrome métal

Le Canada ne possède aucune installation de production de chrome métal.

Ferrochrome

Le Canada ne produit plus de ferrochrome. L'Union Carbide du Canada Limitée a produit entre 1938 et 1974 du ferrochrome à teneur élevée en carbone et à faible teneur en carbone à son installation de Welland, Ontario. Le fourneau utilisé pour la fabrication de ce produit a été démonté et certaines parties ont été vendues. Les derniers stocks de ferrochrome canadien ont été expédiés en 1975.

Des unités de chrome demandées par les fabricants d'acier canadiens sont obtenues à partir des rebuts d'acier inoxydable achetés et recueillies par les marchands canadiens.

Autres alliages au chrome

L'Aluminium du Canada, Limitée (Alcan) produit quelquefois des alliages d'aluminium-zinc de haute résistance à teneur en chrome (séries 7000). La société peut également produire des alliages d'aluminium à teneur en chrome de la série magnésium et magnésium-silicium.

Il semble qu'aucune société canadienne ne produise d'alliages-mères de métaux non ferreux à teneur en chrome ou d'alliages de chrome-titane.

Produits chimiques à base de chrome

Aucune société ne produit du bichromate de sodium au Canada. Les grandes sociétés de tannage importent du bichromate de sodium qu'elles réduisent en sulfate de chrome basique afin de répondre aux besoins de leurs tanneries; elles n'en vendent cependant pas aux autres consommateurs. Les produits chimiques secondaires à base de chrome comme l'oxyde chromique, l'acide chromique, les sulfates de chrome basique peuvent être produits au Canada au cours de la fabrication de produits plus élaborés.

Produits réfractaires à base de chrome

Quatre sociétés canadiennes, la division Canadian Refractories de la Dresser Canada, Inc., la Didier Corporation de Produits Réfractaires, la General Refractories Co. of Canada Ltd. et la division Kaiser Refractories Company de la Kaiser Aluminium & Chimique du Canada Limitée produisent des profilés réfractaires à base de chrome et des mélanges de bronze. Les produits réfractaires à base de magnésite-chromite sont les produits à base de chrome les plus fréquemment utilisés; par ailleurs, quelques sociétés peuvent produire, sur commande spéciale, des produits à base de chromite pure et de chromite-magnésite.

B. Étrangères

Le tableau 5 montre les quantités de sous-produits du chrome que le Canada est sensé importer. Le tarif des douanes applicable aux différents matériaux à teneur en chrome est indiqué à l'annexe 4.

Chromite

Les deux producteurs canadiens de produits réfractaires à base de chromite utilisent du minerai et des concentrés importés. En 1980, plus de 95 % (par poids) des importations canadiennes provenaient de quatre pays: le Mozambique (33 %); les États-Unis (27 %); les Philippines (21 %) et l'Albanie (17 %). Cependant, étant donné que ni le Mozambique ni les États-Unis ne sont des producteurs de chromite il est probable qu'au moins 33 % des importations canadiennes de chromite provenaient de l'Afrique du Sud. De plus, ces importations ne proviennent pas du Zimbabwe puisque le Canada n'a pas utilisé de chromite importée du Zimbabwe pour fabriquer des produits réfractaires.

Le Canada ne s'adresse pas toujours aux mêmes fournisseurs de chromite. En 1977, la Finlande était notre plus grand fournisseur. La chromite importée via les États-Unis provenait d'autres pays qui pouvaient changer au cours des années.

La division Canadian Refractories de la Dresser Canada, Inc. achète régulièrement du minerai de chromite de quelques fournisseurs. La General Refractories Co. achète, de concert avec d'autres fabricants de produits réfractaires en Amérique du Nord, du minerai de chromite livré aux États-Unis puis expédié au Canada par chemin de fer. La Kaiser Refractories Company obtient ses matières premières de sa société mère des États-Unis. La Didier importe directement d'outre-mer les matières premières de catégorie réfractaire.

Les niveaux des stocks canadiens varient selon les sociétés. Certaines augmentent régulièrement leurs réserves courantes alors que d'autres se procurent tous leurs approvisionnements pour toute l'année au cours d'un seul envoi. En règle générale, l'industrie possède dans l'ensemble des réserves qui lui permettent de répondre à ses besoins pendant deux ou trois mois.

D'après la quantité moyenne de chromite importée pendant les années 1979, 1980 et 1981 et le coût moyen par tonne des importations en 1981, le prix d'acquisition d'un stock de réserves équivalant à six mois d'importations est estimé à 3,500,000 $.

Chrome métal

Presque tout le chrome métal consommé au Canada provient soit du Royaume-Uni (surtout le chrome aluminothermique) soit des États-Unis (électrolytique). En raison des coûts relativement élevés du métal, les consommateurs n'accumulent pas de grandes réserves. La Deloro Stellite Canada Limited, plus grand consommateur canadien de chrome métal, dispose d'approvisionnements pour deux ou trois mois.

La Metallurg (Canada) Ltd. et l'Union Carbide du Canada Limitée, maintiennent des réserves de chrome métal à un niveau minimal au Canada en raison des coûts élevés de transport. Cependant, ces sociétés peuvent obtenir dans des délais passablement brefs des livraisons de leurs usines de production de chrome métal. Le groupe Metallurg possède des usines aux États-Unis et au Royaume-Uni; l'Union Carbide Corporation possède des installations aux États-Unis.

Tableau 5

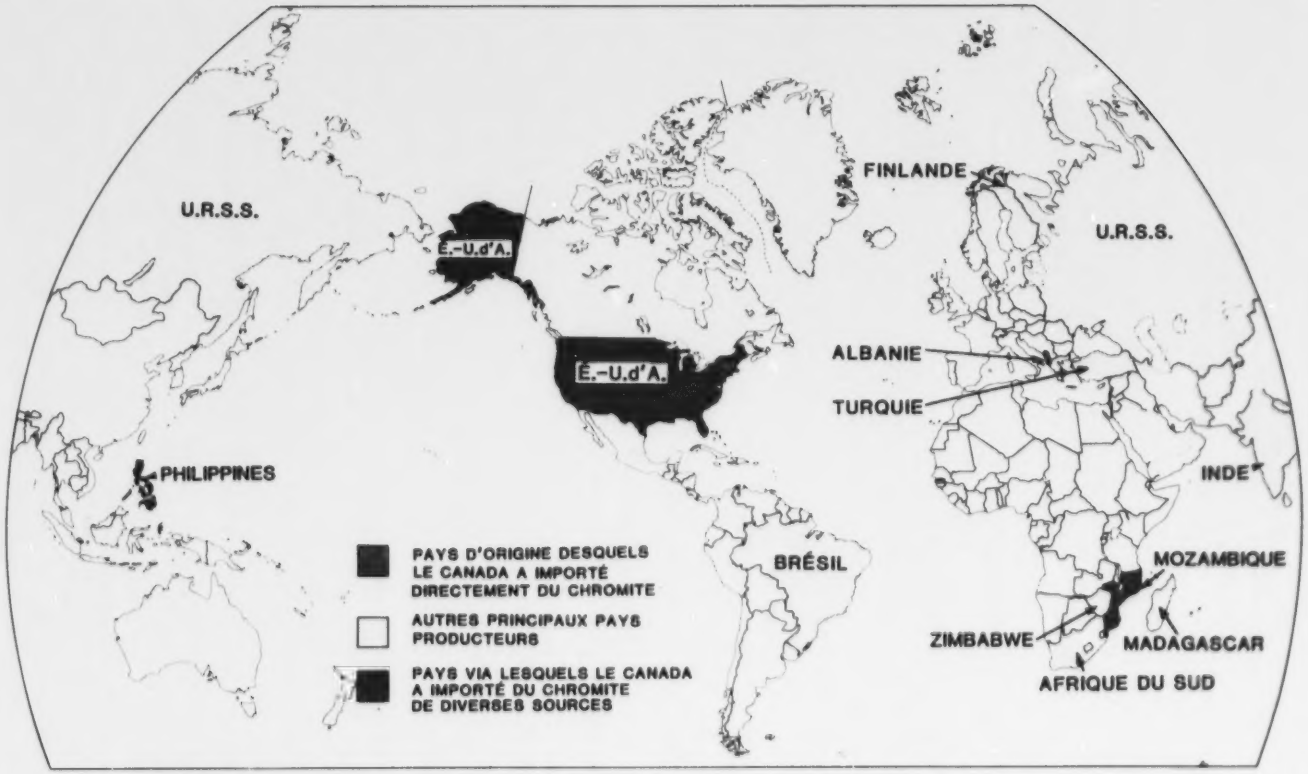
Importations de chrome au Canada, 1979 et 1980

	1979		1980P	
	(tonnes)	(milliers de dollars)	(tonnes)	(milliers de dollars)
Importations				
Minerais et concentrés de chrome				
États-Unis	11 122	2 326	7 769	2 839
Philippines	3 865	1 296	5 970	2 087
Mozambique	9 166	1 404	9 288	1 685
Albanie	-	-	4 720	747
Autres pays[1]	3 220	886	626	234
Total	27 373	5 912	28 373	7 592
Ferrochrome				
États-Unis	12 707	9 663	10 515	9 752
Afrique du Sud	15 923	7 121	19 836	9 713
Brésil	4 350	1 786	7 600	4 165
Autres pays[2]	1 740	1 941	3 418	3 586
Total	34 720	20 511	41 369	27 216
Sulfate de chrome (y compris le chrome basique)				
États-Unis	1 379	932	1 477	1 222
Royaume-Uni	186	149	231	257
Allemagne de l'Ouest	39	33	61	68
Pologne	36	24	-	-
Italie	-	-	18	17
Total	1 640	1 138	1 787	1 564
Oxydes et hydroxydes de chrome				
États-Unis	1 780	3 916	1 624	4 038
Royaume-Uni	75	181	57	219
Italie	-	-	33	79
Allemagne de l'Ouest	53	160	2	10
Total	1 908	4 257	1 716	4 346
Matières colorantes de chrome				
Allemagne de l'Ouest	7	152	8	103
États-Unis	9	76	9	84
Pays-Bas	9	45	3	38
Autres pays[3]	15	60	16	95
Total	40	343	36	320

Source: Statistique Canada.

[1] Comprend l'Allemagne de l'Ouest, les Pays Bas, la Grèce, la Suède, la Finlande et la Turquie. [2] Comprend la Norvège, la Suède et la Yougoslavie. [3] Comprend l'Italie, la République populaire de Chine, la Pologne, la Suisse, le Royaume-Uni et le Japon.

P: préliminaire; -: néant.



PRINCIPAUX PRODUCTEURS DE CHROMITE, 1980

Ferrochrome

Tout le ferrochrome consommé au Canada provient de l'étranger. Les commerçants de métaux comme la Philipp Brothers (Canada) Ltd. et les divisions de commercialisation des autres producteurs de ferrochrome comme l'Union Carbide du Canada Limitée, la Chromasco Limitée et la Metallurg (Canada) Ltd. s'occupent de toutes les importations de ferrochrome.

En pratique, ce sont ces importateurs directs installés au Canada qui maintiennent des stocks de réserve dans lesquels puisent les consommateurs canadiens. Le niveau des stocks entreposés au Canada par les agents de producteurs étrangers de ferrochrome varie selon chaque société. En règle générale, ces stocks sont l'équivalent de deux ou trois mois de la consommation canadienne.

Les consommateurs canadiens achètent leur ferrochrome de sources intermédiaires en vertu de contrats à long terme, d'accords généraux d'achat ou sur les marchés au comptant. La tendance à l'accumulation des réserves varie entre les consommateurs selon les quantités et la qualité de ferrochrome dont ils ont besoin. En général, les stocks à la consommation sont maintenus à un niveau minimal correspondant aux besoins d'une semaine ou deux.

Occasionnellement, des unités de chrome demandées par les fabricants d'acier canadiens sont obtenues à partir de rebuts d'acier inoxydable importées.

D'après la quantité moyenne de ferrochrome importé pendant les années 1979, 1980 et 1981 et le coût moyen par tonne des importations toutes catégories en 1981, le prix d'acquisition d'un stock de réserves équivalant à six mois d'importations est estimé à 14 millions de dollars.

Autres alliages au chrome

Presque tous les autres alliages à base de chrome utilisés au Canada sont importés sous forme de produits finis ou semi-finis.

Les faibles quantités d'alliages de titanium à teneur en chrome utilisées au Canada sont importées surtout des États-Unis sous forme de plaques ou de pièces forgées qu'utilisent les fabricants de turbines et d'avions.

Par ailleurs, tous les alliages d'aluminium de haute résistance et à teneur en chrome qu'utilise l'industrie aérospatiale proviennent des États-Unis sous forme de plaques ou d'extrusions.

Les fabricants de certaines catégories d'alliages d'aluminium à teneur en chrome importent à l'occasion de petites quantités d'alliages-mères d'aluminium à teneur en chrome. Les alliages-mères de cuivre-chrome sont importés des États-Unis.

La Deloro Stellite importe des poudres préparées pour les matériaux de rechargement dur.

Produits chimiques à base de chrome

Le Canada s'adresse à l'étranger pour presque tous ses besoins en produits chimiques à base de chrome. Trois producteurs américains de produits chimiques à base de chrome, l'Allied Corporation, la Diamond Shamrock Corporation et la Harrisons and Crosfield Ltd. sont les plus importants fournisseurs du Canada. D'autres pays notamment le Royaume-Uni, l'Allemagne de l'Ouest, l'Italie, la Norvège, la Suède et le Japon fournissent différents produits chimiques à base de chrome aux consommateurs canadiens dont les réserves correspondent aux besoins d'une à six semaines.

Produits réfractaires à base de chrome

Les briques réfractaires, utilisées par les consommateurs canadiens, comptent pour une très petite partie dans les importations. Les dernières statistiques montrent que les États-Unis sont la seule source étrangère pour l'approvisionnement en briques réfractaires importées au Canada.

Conclusions de la Partie III

Comme indiqué au tableau 6, le Canada est entièrement dépendant des importations pour tous ces sous-produits du chrome, excepté pour certaines quantités de rebuts d'acier inoxydable "achetées", pour les produits réfractaires à base de chrome (eux-mêmes fabriqués à partir des chromites importées) et possiblement les produits chimiques secondaires à base de chrome.

Tableau 6

Principales sources de sous-produits de chrome au Canada

	Intérieures	Étrangères
A. Minerais et concentrés de chrome	Néant	Mozambique (surtout de l'Afrique du Sud) États-Unis (environ la moitié, le reste des Philippines et de l'Afrique du Sud) Philippines Albanie
B. Chrome métal	Néant	États-Unis, Royaume-Uni
C. Ferrochrome	Néant	Afrique du Sud, États-Unis, Brésil
(rebuts d'acier inoxyable)	tel que recueilli	(États-Unis)
D. Autres alliages à base de chrome	Certains alliages de Al-Mg et Al-Mg-Si à teneur de Cu-Cr, et de Cr, et des matériaux de rechargement dur et des pièces coulées résistantes à l'abrasion	États-Unis
E. Produits chimique à base de chrome	Aucun matériau primaire, peut-être une certaine quantité de matériaux secondaires	États-Unis, Royaume-Uni
F. Produits réfractaires à base de chrome	Les produits sont presque tous fabriqués au Canada à partir de minerais et de concentrés importés	États-Unis, Royaume-Uni

Le Canada obtient la majeure partie de son minerai et de son concentré de chromite des Philippines (transporté en partie par bateau jusqu'aux États-Unis) et de l'Afrique du Sud (transporté en partie par bateau jusqu'au Mozambique et/ou les États-Unis).

La majeure partie de son ferrochrome vient de l'Afrique du Sud. Les matières premières utilisées pour la fabrication du ferrochrome, du chrome métal, d'alliages à base de chrome et de produits chimiques à base de chrome sont faites ailleurs et envoyées au Canada en provenance ou en passant par les États-Unis lesquels peuvent les avoir obtenues de l'Afrique du Sud.

Les consommateurs industriels de catégories de produits réfractaires à base de chromite, et les fournisseurs en ferrochrome situés au Canada, maintiennent généralement leurs approvisionnements pour une durée équivalente à deux ou trois mois de la consommation canadienne. Seules de petites quantités de chrome métal sont maintenues au Canada. Les réserves de produits chimiques à base de chrome varient de une à six semaines.

PARTIE IV. CAPACITÉ D'APPROVISIONNEMENT À L'ÉCHELLE MONDIALE

Chromite

(i) Réserves mondiales

On trouve la chromite sous forme de minéral accessoire dans de nombreuses roches ignées mafiques et ultramafiques où elle peut représenter jusqu'à 1 ou 2 % du poids. Le minerai de chrome peut contenir 50 % ou plus de chromite, le reste étant une variété de silicate à faible teneur en chrome et d'autres minéraux oxydés (c'est-à-dire du minéral de gangue). Les propriétés physiques du minerai, la composition de la chromite qu'il contient et la facilité d'élimination de la gangue par des techniques d'enrichissement revêtent autant d'importance que la teneur en chromite. Les gisements de minerai de chromite ont toujours été divisés en deux grandes catégories selon leur géométrie et leur emplacement géologique: stratiforme et podiforme. Cette distinction est aussi importante du point de vue économique que géologique puisque les deux types de gisements diffèrent en de nombreux aspects comme la taille, la catégorie et dans la facilité d'exploration et d'exploitation.

Les gisements stratiformes comprennent des "veines" semi-massives à massives de chromite dans les zones inférieures de grandes intrusions de roches ignées et litées. Les couches de chromite varient de moins de 1 cm à plus de 1 m d'épaisseur et présentent une continuité latérale remarquable. Par exemple, la veine de Steelport dans le complexe igné Bushveld, en Afrique du Sud, varie de 0,9 à 1,2 m d'épaisseur sur au moins 65 km de longueur.

Seuls quelques gisements de chromite stratiformes sont actuellement exploités, mais en raison de leurs grandes dimensions ils représentent plus de 97 % des réserves mondiales et fournissent environ 40 % de la production mondiale. Les réserves de l'Afrique du Sud, du Zimbabwe, de la Finlande et du Brésil sont constituées de ce type de gisement. Les gisements du Zimbabwe constituent l'exception notable puisqu'on y trouve du minerai de chromite stratiforme à forte teneur en fer. Dans les réserves de minerai du complexe Bushveld évaluées à plus de 2,2 milliards de tonnes, la teneur moyenne est de 44 % de Cr_2O_3 et le rapport Cr/Fe atteint 1,5.

Les gisements de chromite podiformes sont généralement constitués d'amas lenticulaires de chromite massive ou fortement disséminées dans la roche ultrafamique de séquences ophiolites. Les lentilles individuelles varient de quelques kilogrammes à plusieurs millions de tonnes. Cependant, seules quelques-unes représentant plus de 1 million de tonnes de chromite ont été jusqu'à maintenant découvertes dans le monde. Le gisement de minerai podiforme comprend habituellement un certain nombre de petites lentilles. Par exemple, la mine Kavak en Turquie comprend 21 massifs différents totalisant environ 2 millions de tonnes (la production antérieure plus des réserves) de minerai d'une teneur moyenne variant entre 28 à 30 % de Cr_2O_3.[1] La nature discontinue et irrégulière du minerai podiforme ne facilite pas l'exploration des gisements et rend très incertains les calculs des réserves et des ressources. Les gisements podiformes de chromite ont tendance à être très riches en chrome et leur rapport Cr/Fe est généralement supérieur à 2,5. De la chromite réfractaire, à forte teneur en alumine est extraite des gisements podiformes.

Les gisements de chromite alluviaux et éluviaux formés par l'érosion de roches ultrafamiques sont d'une importance mineure.

Les réserves mondiales de chromite connues en janvier 1980 sont indiquées au tableau 7. Ces chiffres représentent probablement les ressources exploitables de gisements bien connus. Selon les données du tableau 6, près de 98 % des réserves mondiales se trouvent en Afrique du Sud et au Zimbabwe. Ce niveau élevé peut être

Tableau 7

Réserves mondiales de chromite[1],[2]
(janvier 1980)

	(Milliers de tonnes de minerai expédié, poids brut)	(% du total mondial)
Albanie	2 000	0,1
Brésil	2 000	0,1
Cuba	3 000	0,1
Finlande	25 000	0,7
Inde	5 000	0,1
Iran	2 000	0,1
Madagascar	2 000	0,1
Philippines	3 000	0,1
Afrique du Sud	2 300 000	68,1
Turquie	5 000	0,1
U.R.S.S.	15 000	0,4
Zimbabwe	1 000 000	29,9
Autres pays	2 000	0,1
Total mondial	3 332 000	100,0

Source des données: J.L. Morning, N.A. Matthews et E.C. Peterson "Chromium: chapitre de la publication Mineral Facts and Problems, édition de 1980", U.S. Bureau of Mines, prétirage du Bulletin 671, p. 5.

[1] Données fournies par le U.S. Geological Survey. [2] Chiffres arrondis

surprenant étant donné que cette région ne fournit que 40 % de la production mondiale. Les réserves de l'Afrique du Sud pourraient être exploitées au taux actuel de production pendant plus de 800 ans. Les dimensions inhabituellement grandes de ces réserves s'expliquent par leur caractère géologique. En effet, la continuité des principaux gisements africains permet d'établir des estimations passablement fiables des réserves à un coût relativement peu élevé.

Les gisements de chromite à teneur élevée en chrome se trouvent surtout en Albanie, en Turquie, en U.R.S.S. et au Zimbabwe tandis que du minerai à faible teneur de chrome est extrait au Brésil, en Finlande et en Afrique du Sud. C'est surtout à Cuba et aux Philippines que l'on trouve les catégories réfractaires à teneur élevée en aluminium (ne représentant qu'une faible fraction des réserves mondiales).

(ii) Capacité actuelle d'approvisionnement mondial

Les estimations de la capacité mondiale de la production de chromite sont présentées au tableau 8. Selon les données fournies, 31,6 % de la capacité mondiale de production appartiennent à des pays où l'économie n'est pas axée sur les marchés. Par ailleurs, l'Afrique du Sud détient 40,8 % de la capacité de production.

Tableau 8

Capacité nominale de production de chromite

Pays	Capacité (1981) (tonnes par an)	(%)
Albanie	1 000 000	8,3
Finlande	400 000	3,3
Inde	500 000	4,2
Philippines	540 000	4,5
Afrique du Sud	4 000 000	33,3
Turquie	700 000	5,8
U.R.S.S.	2 800 000	23,3
Zimbabwe	900 000	7,5
Autres pays[1]	1 160 000	9,8
Total mondial	12 000 000	100,0

Source des données: Le personnel, "Chromium: Abundance Askew", (Une revue du rapport de l'Institut international du fer et de l'acier intitulé "Chromium and the Steel Industry"), Mining Journal, vol. 297, n° 7629, 6 novembre 1981, p. 361.

[1] exemple: Brésil, Iran et Madagascar.

(iii) Production mondiale au cours des dernières années

La liste des principaux producteurs mondiaux de chromite est fournie au tableau 9 tandis que celle des pays producteurs apparaît à la figure 2. Une révision pour chaque pays est indiquée à l'annexe 5 tandis que les statistiques sur la production des dernières années sont fournies au tableau 10.

Entre 1960 et 1980 il y a eu des changements importants au niveau de la position relative des pays producteurs de chromite. Au cours de cette période, l'Afrique du Sud a augmenté de 17,4 à 31,5 % sa part de la production mondiale. L'Albanie, le Brésil et la Finlande sont également des producteurs qui ont augmenté considérablement leur production.

D'autres pays ont diminué leur contribution relative à la production mondiale notamment les Philippines (16,6 à 5,9 %); la Turquie (10,9 à 4,1 %) et le Zimbabwe (13,7 à 5,7 %).

(iv) Augmentations prévues de la capacité de production

Les projets d'augmentations de la capacité mondiale de production de chromite sont indiqués au tableau 11. La plupart de ces projets exécutés dans des pays producteurs continueront de fournir la matière première nécessaire aux installations locales de production de ferrochrome actuellement en construction (voir le tableau 15).

Tableau 9

Principaux producteurs mondiaux de chromite

Pays	Société
Albanie	Société d'État
Brésil	Cia. de Ferro Ligas da Bahia, SA (Ferbasa)
Colombie	Cromitas Ltda
Chypre	Hellenic Mining Co. Ltd.
Finlande	Outokumpu Oy (Société d'état)
Grèce	Financial Mining-Industrial & Shipping Corporation
Inde	Orissa Mining Corp. Ltd.
Iran	Esfandaqeh Mining Co. Faryab Co.
Japon	Hirose Kogyo KK Nihon Chrome Kogyo KK
Madagascar	Kraoma-Kraomita Malagasy
Pakistan	H.M. Habibullah Company Pakistan Chrome Mines Ltd.
Philippines	Acoje Mining Co. Inc. (Herdis Group Inc. de Manille and Voëst-Alpine AG d'Australie) Consolidated Mines Inc. (Benguet Corporation gestionnaire) Golden Arrow Mining Co., Inc. Trident Mining & Industrial Corporation
République d'Afrique du Sud	Chrome Mines of South Africa Ltd., (filiale de la General Mining Union Corp. Ltd.) Lavino South Africa Pty. Ltd. (Groupe International Mineral & Chemical Corp. É.-U. d'A.) Marble, Lime and Associates Industries Ltd. (filiale de la General Mining Union Corp. Ltd.) Montrose Exploration Co. (South Africa) (Pty.) Ltd. (filiale de la General Mining Union Corp. Ltd.) S.A. Manganese Amcor Ltd. (Samancor) Transvaal Consolidated Land & Exploration Co. Ltd. (filiale de la Barlow Rand Limited) Ucar Chrome Co. (S.A.) (Pty.) Ltd., (filiale de l'Union Carbide Corporation, É.-U. d'A.)
Soudan	Ingessana Hills Mines Corp. (Société d'État)
Turquie	Bilgin Maden Ltd. Egemetal Madencilik A.S. (associée de la Metallgesellschaft AG., Allemagne de l'O.) Etibank General Management Fethiye Maden Sitki Koeman Turk Maadin Sirketi A.S. (filiale de la Metallurg Inc., É.-U.)

Tableau 9. (suite)

Pays	Société
U.R.S.S.	Société d'État
Zimbabwe	Rhodall Limited (Groupe Anglo-American, Afrique du Sud) Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd. (Groupe Union Carbide Corporation, É.-U.)

Sources des données: U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, Volumes I "Metals and Minerals" et III "Area Reports - International". D.L. Buchanan, "Chromite Production from the Bushveld Complex", World Mining, Septembre 1979, vol. 32, n° 10, p. 98. E. Shekarchi, G. Morgan, P. Clarke, et S. Ambrosio, "Zimbabwe", U.S. Bureau of Mines, MP Mineral Perspectives, 1981, pp. 16-19.

Tableau 10

Production mondiale de chromite, par pays, pour des années sélectionnées, 1960 à 1980

	1960	1970	1978	1979P	1980e
	(milliers de tonnes)				
Albanie	289	468	989[1]	1 016[1]	1 080
Brésil	5	27	269	340	349
Cuba	30[2]	..	29	28	32
Chypre	15[3]	34	15	15	16
Finlande	0	121	178	177	175
Grèce	35	26	40e[4]	54[4]	62
Inde	100	271	266	309	319
Iran	68	200e	198e	136	82
Japon	67	33	9	12	14
République de Madagascar	..	131[2]	138	128	150
Nouvelle-Calédonie	39	..	8	13	13
Pakistan	18	29	11	3	3
Philippines	735	566	537	561	572
Afrique du Sud	772	1 427	3 144	3 297[5]	3 415
Soudan		47	18	28	25
Turquie	482	519	376	454[6]	399
É.-U. d'A.	97[7]	0	0	0	0
U.R.S.S.	916e	1 750e	2 313	2 404	2 449
Vietnam	19	..	13	14	15
Yougoslavie	101	41	2e	0	0
Zimbabwe	606	363	478e	542	554
Autres pays[e]	38	..	6	5	5
Total mondial	4 432e	6 053e	9 037e	9 536	9 729

Sources des données: U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, Volume I, 1964, p. 356; 1972, p. 296 et E.C. Peterson, "Chromium: U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, prétirage de 1980", pp. 11 et 12.

[1] Production de minerai brut, production non commercialisable. [2] Importations des États-Unis. [3] Exportations. [4] Exportations par envois directs de minerai plus la production de concentrés. [5] Chiffres relevés. [6] Production estimative de produits marchands (envois directs de minerai plus les concentrés) déterminée d'après la production de minerai. [7] À l'exclusion du minerai consommé par l'American Chrome Co.
P: préliminaire; e: estimatif; ..: non disponible.

Tableau 11

Augmentations prévues de la capacité mondiale de production de chromite

Pays et société	Endroit	Observations
Grèce		
Hellenic Ferroalloys SA.	Mine Xeralivado	La capacité annuelle de production de la mine est portée à 50 000 tonnes et plus.[1]
Inde		
Ferro Alloys Corporation Ltd.[2]	Boula, Orissa	Accroissement de la capacité de la mine et construction d'une usine d'enrichissement de 480 t/j.
Nouvelle-Calédonie		
Inco Metals Company[3]/Banque de Paris et des Pays-Bas/ consortium Dong-Trieu	Tiebaghi	Production annuelle portée à environ 85 000 tonnes de chromite en 1982.
Philippines		
Acoje Mining[4] Co. Inc.		Accroissement de la capacité d'extraction et de broyage qui atteindra une production de 108 000 t/an en 1982.
Consolidated Mines Inc./ Benguet Corporation		Réouverture d'une nouvelle mine dans la province de Zambales.[5]
Philchrome Mining Corporation[6]	Île de Palawan	Production de 20 000 tonnes par année de matériaux de catégorie réfractaire à partir de gisements de sables (AMAX Inc. des É.-U. d'A. et la Kawasaki Steel Corporation du Japon achèteront un intérêt de 15 %).
Afrique du Sud		
General Mining Union Corp. Ltd. (Gencor)[7]	Tweefontein, Tansvaal	Capacité de 408 000 t/an pour remplacer la production de l'ancienne installation Zwartkop et de la mine Kroondal.

Tableau 11 (suite)

Pays et société	Endroit	Observations
Zimbabwe		
Zimbabwe Mining & Smelting[8] Co. (Pvt.) Ltd. (Groupe de l'Union Carbide Corporation)	Selukwe, Mines Mtoroshanga	La production de minerai de chrome est portée de 325 000 tonnes à 450 000 t/an.

[1] A.G. Thomson, "Chromite", dans Mining Annual Review 1981, p. 79. [2] Le personnel, "Chromite and Expansion", Mining Journal, vol. 296, n° 7591, 13 février 1981, p. 115. [3] Le personnel, "Inco Limited to develop Tiebaghi chromite", Metal Bulletin, n° 6554, 9 janvier 1981, p. 21. [4] Le personnel, "Voëst-Alpine AG FeCr for 1982?", Metal Bulletin, 18 novembre 1980, p. 26. [5] Thomson, ibid. [6] Le personnel, "Sand Chrome Project", Mining Journal, vol. 296, n° 7591, 13 février 1981, p. 113. [7] Le personnel, "Tweefontein Stratup Outlined", Metal Bulletin, n° 6576, 27 mars 1981, p. 19. [8] Le personnel, "Zimbabwe Chrome Ore Expansion", Mining Journal, vol. 296, n° 7596, 20 mars 1981, p. 218.

Ferrochrome

(i) Capacité et production mondiales au cours des dernières années

Selon les estimations, la capacité mondiale de production de ferrochrome est de 3 099 000 tonnes par année d'alliages, dont 80 % servent à la production de ferrochrome de charge et de ferrochrome à teneur élevée en carbone.[2]

La liste des producteurs mondiaux de ferrochrome est présentée au tableau 12 et à la figure 3. Les notes sur les pays producteurs sont présentées à l'annexe 6 tandis que les chiffres pour la production déclarée de ferrochrome entre 1977 et 1980 sont indiqués au tableau 13 (ferrochrome) et 14 (ferrochrome-silicium).

Le Japon, l'Afrique du Sud, la Suède, les États-Unis, l'U.R.S.S. et le Zimbabwe ont fourni environ 78 % des approvisionnements mondiaux en 1980. Il est intéressant de remarquer sur la scène mondiale l'accroissement constant de la contribution de l'Afrique du Sud à la production mondiale de ferrochrome (10,4 % en 1974, 19,2 % (estimatif) en 1980, surtout aux dépens du Japon (dont la production est passée de 29,1 % en 1974 à 14,5 % (estimatif) en 1980) et des États-Unis (16,4 % en 1974 à 7,4 % (estimatif) en 1980). Ces renversements sont surtout attribuables à la situation des coûts énergétiques favorables en Afrique du Sud où les gisements de chrome se trouvent à proximité de centrales électriques alimentées au charbon et à l'adoption de règlements sur la protection de l'environnement aux États-Unis. Un facteur prédominant a été l'adoption du procédé de décarburation à l'argon et à l'oxygène qui permet l'utilisation de ferrochrome à teneur élevée en carbone dans l'élaboration de l'acier inoxydable, d'où un accroissement de la demande des minerais de catégorie relativement inférieure de l'Afrique du Sud.

(ii) Augmentations prévues de la capacité mondiale

"Le taux d'utilisation de la capacité ... de production de (ferrochrome) en 1980-1981... aurait pu atteindre"[3] près de 70 %. Cependant, même si la capacité mondiale de production est actuellement excédentaire aux besoins, peu de pays producteurs de chromite prévoient d'accroître la capacité de leurs installations de production (le tableau 14). "La disponibilité de la production du Zimbabwe devrait aggraver la situation du marché"[4] à court terme.

Tableau 12

Ferrochrome: principales usines de production à travers le monde, capacité estimative

Pays	Société et emplacement de l'usine	Chrome de charge	Ferrochrome à teneur élevée en carbone	Ferrochrome à teneur moyenne en carbone	Ferrochrome à faible teneur en carbone	Ferro-chrome-silicium	Toutes les catégories (n.m.a.)
				(tonnes par an)			
Brésil	FERBASA - Cia de Ferro Ligas da Bahia SA, Pojuca, Bahia.	82 000	-	-	11 000	-	
Finlande	Outokumpu Oy, Tornio.	45 000	-	-	-	-	
France	SOFREM - Société Française d'Électrométallurgie, Paris (Groupe Pechiney Ugine Kuhlmann).	-	-	-	-	2 000	
Inde	Ferro-Alloys Corporation Ltd., Shreeramnagar, district de Srikakulam, Andhra Pradesh	9 000	-	-	5 000	1 000	
	Visvesvaraya Iron & Steel Ltd., Bhadravati, Karnataka.	*	*	*	*	-	1 000
Italie	Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck, Novate Mezzola.	-	-	-	14 000	-	
	Montedison SpA, Carrara, Avenza	-	36 000 (y compris le chrome de charge	-	-		
Japon	Awamura Metal Industry Co. Ltd., Uji City, Kyoto.	-	65 000	-	-	5 000	
	Japan Metals & Chemicals Co. Ltd., Tokyo	-	134 000	-	39 000	22 000	
	Nippon Denko KK, Hokuriko.	-	54 000	-			
	NKK-Nippon Kokan KK, Tokyo.	-		-	1 000	23 000	

	Pacific Metals Co. Ltd., Tokyo.	-		-	-	-	
	Showa Denko KK, Usines Chichibu et Shunan Denko KK.	157 000	-	-	57 000	24 000	
Mexique	Cláa Minera Autlan SA de CV, usine de Tezuitlan.	-	-	-	5 000	-	
Norvège	A/S Bjolvefossen, Norheimsund.	-	18 000	16 000	-	-	
Philippines	Ferro-Chemicals Inc., Caloogan City.	-	*	*	*	-	2 000
Afrique du Sud	Feralloys Ltd., Machadodorp.	-	27 000	-	9 000	36 000	
	Ferrometals Ltd., Witbank, (S.A. Manganese Amcor Ltd.) Samancor.	245 000					
	Johannesburg Consolidated Investment Co. Ltd. (Groupe Anglo American Corporation), Lyndenburg.	109 000	-	-	-	-	
	Palmiet Chrome Corp. (Pty) Ltd., Krugersdorp (Groupe Barlow Rand).	9 000	-	-	-	14 000	
	RMB Alloys (Pty) Ltd., Middleburg (Groupe Barlow Rand).	18 000	-	-	-	-	
	Tubatse Ferrochrome (Pty) Ltd., Steelpoort, Transvaal (General Mining & Finance Corp. Ltd., (Groupe Union Carbide Corporation É.-U.).	109 000	-	-	-	-	
Espagne	Ferroaleaciones Y Electrometales SA, Boo, Santander.	-	-	-	9 000	-	
	Ferroaleaciones Españolas SA, Medina de Campo, Valladolid (Cia Industrial y de Abastecimientos SA).	-	25 000	-	-	-	

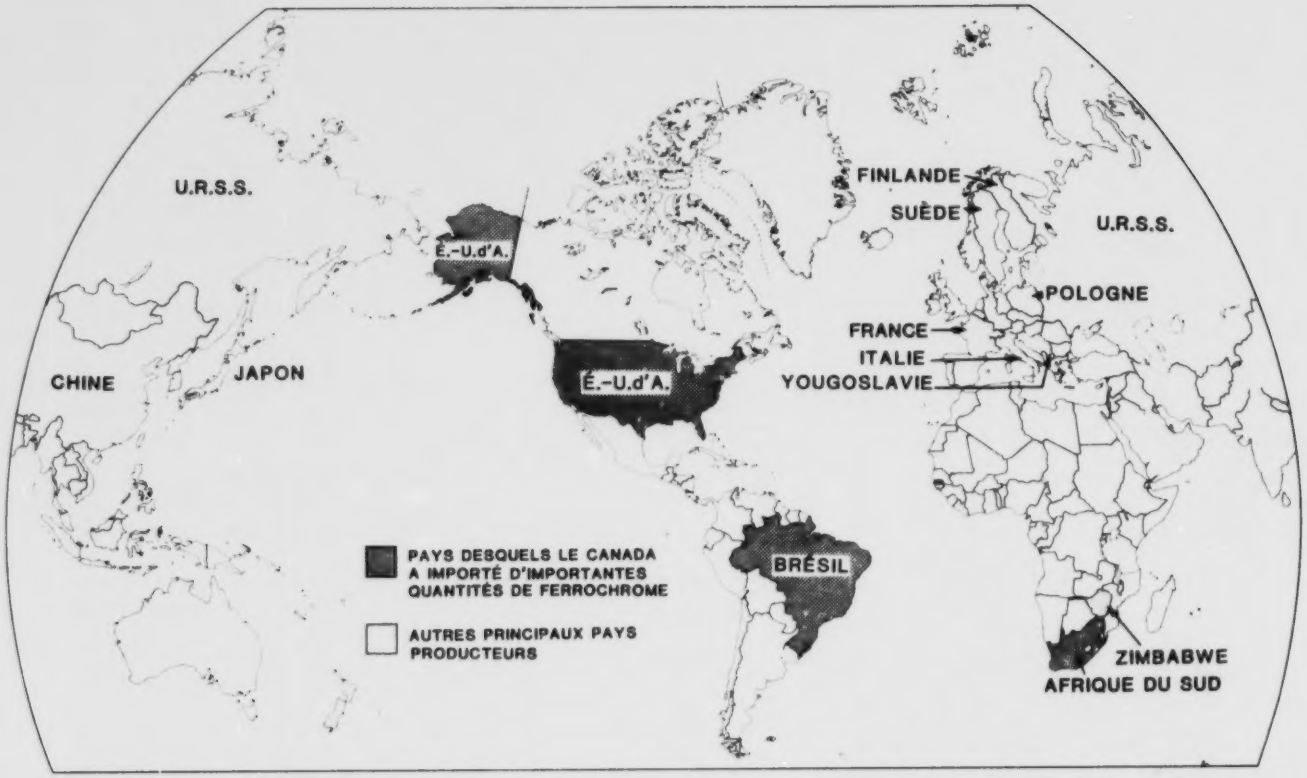
Tableau 12. (suite)

Pays	Société et emplacement de l'usine	Chrome de charge	Ferrochrome à teneur élevée en carbone	Ferrochrome à teneur moyenne en carbone	Ferrochrome à faible teneur en carbone	Ferro-chrome-silicium	Toutes les catégories (n.m.a.)
			(tonnes par an)				
Suède	Airco Alloys AB, Vargön (Groupe Macalloy).	-	160 000	-	-	18 000	
	Ferrolegeringar Trollhätteverken AB, Trollhätten (Groupe Metallurg Inc.)	-	54 000	-	30 000	30 000	
Turquie	Etibank General Management, Antalaya et Elazig-Gulusgur.	-	45 000	-	14 000	-	
États-Unis	Chromium Mining & Smelting Corp., Woodstock, Tennessee (Filiale de la Chromasco Limitée).	-	27 000	-	-	-	
	Elkem Metals Co (Elkem A/S group) Alloy, Virginie-Occidentale; Marietta, Ohio et Niagara Falls, New York.	*	*	*	*	*	
	Globe Metallurgical Division, Interlake, Inc., Beverly, Ohio, (Groupe Interlake, Inc.).	-	*	*	*	*	54 000
	Macalloy Corporation (Macmetal Corporation et Satra Corporation) Charleston, du S.C.	-	60 000	-	-	27 000	
	Namco Inc. - North American Metallurgical Corp., Camden, New Jersey.	-	*	*	*	-	
	Satralloy Inc., Steubenville, Ohio (Satra Corporation)	-	33 000	-	33 000	21 000	
	Tenn-Tex Alloy Corp., Houston, Texas.	-	*	*	*	-	27 000

Allemagne de l'Ouest	Elektrowerk Weisweiler GmbH, Eschweiler-Weisweiler (Groupe Gesellschaft für Elektrometallurgie mbH).	*	*	*	*	32 000	180 000 (y compris les catégories de charge)
Yougoslavie	Dalmacija, Dugi Rat, Split.	-	27 000	-	-	-	
	Jugohrom HEK, Skopje.	-	27 000	-	9 000		-
	Tovarna dušika Ruše, Ruše.	-	7 000	-	5 000	5 000	
Zimbabwe	Rhodall Limited (Groupe Anglo American Corp.), Gwelo.	-	47 500	-	29 000	36 500	
	Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd., (Groupe Union Carbide Corp.), Que,Que.	-	-	-	-	-	90 000

Sources des données: J. Parry (ed.) "Ferro Alloys: A World Survey", "Table 5 - Ferrochrome plants in Zimbabwe, Shekarchi, Morgan, Clarke and Ambrosio", op.cit. p. 20.

* Capacités non connues.
n.m.a.: non mentionnées ailleurs; -: néant.



PRINCIPAUX PRODUCTEURS DE FERROCHROME, 1980

Tableau 13

Production de ferrochrome[1], par pays, 1977 à 1980

	1977	1978	1979P	1980e
		(tonnes)		
Brésil	66 224	62 596	84 368	93 440[2]
Chine[e]	72 575	90 718	90 718	90 718
Tchécoslovaquie[e]	29 937	29 937	28 123	27 216
Allemagne de l'Est[e]	23 587	25 401	20 865	19 958
Finlande	33 566	44 452	48 988	49 895
France[3]	101 605	92 533	95 255	86 183[2]
Inde	18 144	21 772	22 680	16 329[2]
Italie	39 916	37 195	42 638	40 823
Japon	399 161	273 970	381 925	427 284[2]
Mexique	2 722	4 536	4 536	3 629
Norvège	22 680	15 422	11 793	11 793[2]
Pologne[e]	49 895	49 895	49 895	48 081
Afrique du Sud	380 110	479 901	555 197	565 176
Suède	134 263	166 015	189 602	188 694
Turquie[e]	34 473[e]	39 916[e]	29 937[e]	32 659
U.R.S.S.[4e]	635 029[e]	662 245	689 460[e]	698 532
États-Unis	196 859	176 901	244 033	216 817[2,5]
Allemagne de l'Ouest[e]	55 338	49 895	59 874	59 874
Yougoslavie	36 287	51 710	65 317	64 410
Zimbabwe[e]	199 581	199 581	199 581	199 581
Autres pays	16 330	13 330	19 958	19 052
Grand total[6]	2 548 282	2 588 200	2 934 743	2 960 144[5]

Source des données: F.J. Schottman, "Ferroalloys": U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, prétirage de 1980, pp. 9-14.

[1]Le tableau comprend les données disponibles jusqu'au 21 juin 1981. [2]Chiffre relevé. [3]Comprend la production (le cas échéant) de ferrochrome-silicium. [4]La production de ferroalliages pour fours électriques n'est pas déclarée pour l'U.R.S.S.; les estimations fournies reposent sur la production de matières premières et les disponibilités à la consommation (y compris les estimations) et sur les données fournies sur le commerce de ferroalliages y compris les données fournies par les pays qui sont ses associés commerciaux. [5]La production de ferrochrome-silicium des États-Unis est incluse avec celle de ferrochrome afin de ne pas divulguer de renseignements internes sur des sociétés. [6]La production de ferrochrome-silicium de la France comprend celle de ferrochrome.
P: préliminaire; [e]: estimatif.

A plus long terme, on peut s'attrendre à la fermeture de quelques anciennes installations de production dans de grands pays industrialisés (et à un renversement au niveau des sources d'approvisionnement au profit de l'Afrique du Sud et de quelques pays en voie de développement qui sont également des producteurs de chromite) "tant que les grands pays consommateurs de ferrochrome n'auront pas réduit leur production à un certain niveau stratégique minimal".[5]

Chrome métal

La liste des producteurs de chrome métal est présentée au tableau 15. La capacité de production est située dans les pays industrialisés.

Tableau 14

Augmentations prévues de la capacité mondiale de production de ferrochrome

Pays et société	Endroit	Observations
Grèce		
Hellenic Ferroalloys SA[1] (filiale de la société d'État, la Hellenic Industrial Mining & Investment Company)	Tsigelli, Almiros, près de Volos	Usine de ferrochrome de 30 000 t/an (approximatif).
Inde		
Ferro-Alloys Corporation Ltd.[2] (FACOR)	Randia, district de Balasore, Orissa	Fours de 45 mVA d'une capacité de production de 50 000 t/an (approximatif). Mise en service d'une usine de chrome de charge en décembre 1982.
Indian Metals & Ferro Alloys Ltd.		La production de 50 000 t/an de chrome de charge est envisagée par le gouvernement de l'Inde.[3]
OMC Alloys[2],[4] (co-entreprise de la société d'État Orissa Mining Corporation Ltd. (OMC), la Voëst-Alpine AG d'Autriche et la Outokumpu Oy de Finlande)	Bamnipal, district de Keonjhar, Orissa	Production d'environ 50 000 t/an. Une usine de chrome de charge devrait être mise en service en 1983. La production sera destinée à l'exportation.
Philippines		
Ferrochrome Philippines, Inc.[5] (co-entreprise du Herdis Group Inc. des Philippines et la Voëst-Alpine AG d'Autriche).	Cagayan de Oro, île Mindanao	Usine de chrome de charge mise en service en 1982 (capacité de 45 000 t/an); utilisation de la technologie de fonte Outokumpu.
Turquie		
Etibank General Management[6] (société d'État)	Elazig	La capacité de production de l'usine actuelle de ferrochrome sera triplée pour atteindre 150 000 tonnes en 1984. Les travaux d'ingéniérie sont exécutés par la Elkem A/S de Norvège et la technologie de traitement fournie par la Outokumpu Oy de Finlande.[7]
Zimbabwe		
Zimbabwe Mining & Smelting Co.[8] (Union Carbide Corporation)	Que Que	Deux nouveaux fours de 28 mVA seront mis en service en 1982; la production sera portée de 123 000 à 190 000 t/an.

Tableau 14 (suite)

Augmentations prévues de la capacité mondiale de production de ferrochrome

Pays et société	Endroit	Observations
Rhodall Limited[9] (Anglo American Corporation)	Gwelo	Un deuxième four de 28 mVA permettra de doubler la production de ferrochrome. Le projet a été abandonné en avril 1981 en raison de la hausse des coûts de production et des salaires.

[1] Le personnel, "Creek FeCr Project Progressing", Metal Bulletin, n° 6539, 11 novembre 1980, p. 25. [2] Le personnel, "New FeCr Plants in Asia", Metal Bulletin, n° 6609, 28 juillet 1981, p. 17. [3] M. Vinayak, "Charge Chrome Projects Underway in India ", American Metal Market, vol. 89, n° 243, 17 décembre 1981, pp. 17 et 20. [4] Madras Correspondent "New FeCr plant in Orissa", Metal Bulletin, n° 6526, 26 septembre 1980, p. 25. [5] Le personnel, "Outokumpu Cr Plant for Philippines?" Metal Bulletin, n° 6556, 16 janvier 1981, p. 19. [6] Le personnel, "Ores, Ferroalloys", Metal Bulletin, n° 6540, 14 novembre 1980, p. 26. [7] Le personnel, "Turkey", Mining Annual Review 1981, p. 527. [8] Le personnel, "Zimbabwe FeCr Still Expanding", Metal Bulletin, n° 6533, 21 octobre 1980, p. 25. [9] Le personnel, "Chrome Plans Abandoned", Mining Journal, vol. 296, n° 7901, 24 avril 1982, p. 318.

Tableau 15

Capacité mondiale de production de chrome métallique en septembre 1977

Pays	Société et emplacement	Capacité annuelle (Totaux des pays)
A. Technique aluminothermique		
France	Les Aciéries de Gennevilliers (Éts. C. Delachaux) Gennevilliers	
	Sofrem - Société Française d'Électrométallurgie (Groupe Pechiney Ugine Kuhlmann), Paris[1]	700
Japon	Nippon Denko KK, Hokuriku	200-300
Royaume-Uni	London & Scandinavian Metallurgical Co. Ltd. (Groupe Metallurg Inc.), Rotherham, Yorkshire	
	Metal & Alloys, South Wales	
	Murex Ltd. (Groupe British Oxygen Co.) Rainham, Essex	2 000
États-Unis	Shieldalloy Corporation (Groupe Metallurg Inc.) Newfield, New Jersey	600
Allemagne de l'Ouest	Gesellschaft für Elektrometallurgie mbH Düsseldorf[1]	
	Th. Goldschmidt A.G., Essen[1]	700
		4 300

Tableau 15 (suite)

Pays	Société et emplacement	Capacité annuelle (Totaux des pays)
B. Procédé électrolytique		
Japon	Toyo Soda Manufacturing Co. Ltd. Yamagata City et Hyuga City, Préfecture de Miyazaki	3 000
U.R.S.S.	..	..
États-Unis	Prairie Metals and Chemicals Inc., Prairie, Missouri. Union Carbide Corporation, Marietta, Ohio	3 000
		6 000
Production mondiale totale obtenue par les deux méthodes (à l'exception de l'U.R.S.S.)		10 300

Sources des données: "Table 4, Productive Capacity of Metallic Chromium in the World", H. Sattoh (ed.), "1979 Ferro Alloy Manual", p. 217; Metal Bulletin Books Ltd., "European Metals Directory, 2nd Edition", p. 652; et, J. Parry (ed.), "Ferro Alloys: A World Survey".

[1] Emplacement du siège social
..: non disponible.

Tableau 16

Production de ferrochrome-silicium,[1] par pays,[2] 1977 à 1980

	1977	1978	1979[P]	1980[e]
	(tonnes)			
Brésil	4 536	4 536	7 257	8 165[3]
Inde	4 536	3 629	3 629	3 629[3]
Japon	11 793	9 072	17 237	16 329[3]
Norvège	-[4]	907	907	-[3,4]
Afrique du Sud[e]	29 030	30 844	35 380	29 947
Suède	8 165	4 536	29 030	19 958
U.R.S.S.[e]	9 979	9 979	9 979	9 979[e]
États-Unis	48 081	21 772	23 587	-[5]
Yougoslavie	5 443	8 165	6 350	6 350
Grand Total[6]	121 563	93 440	133 356	94 347

Source des données: Schottman, op. cit. pp. 9-14.

[1]Le tableau comprend les données fournies jusqu'au 21 juin 1981. [2]Outre les pays figurant à la liste, la Roumanie produit des ferroalliages de fours électriques mais nous ne disposons pas de données sur sa production et ne pouvons pas fournir d'estimations. [3]Chiffres relevés. [4]Moins de 454 tonnes. [5]La production de ferrochrome-silicium des États-Unis comprend la production de ferrochrome afin de ne pas divulguer des renseignements internes sur des sociétés. [6]La production de ferrochrome-silicium comprend celle de ferrochrome.
P: préliminaire; [e]: estimatif.

Conclusions de la Partie IV

La production mondiale de chromite est centrée dans un nombre relativement restreint de pays notamment la République d'Afrique du Sud, l'U.R.S.S., l'Albanie, les Philippines, le Zimbabwe et la Turquie.

Aucune pénurie de chromite n'est actuellement envisagée à moins de circonstances spéciales qui limiteraient les approvisionnements de l'Afrique du Sud et des Philippines. Cependant, on s'attend à ce que "les ressources en chromite des [Philippines] [(de catégorie réfractaire à forte teneur en aluminium)] soient considérablement épuisées vers l'an 2000".[6]

Malgré l'excédent actuel de la capacité de production, plusieurs pays ont élaboré des plans de mise en service de nouvelles mines de chromite pour répondre surtout à leurs besoins internes en ferrochrome.

La plus grande partie du ferrochrome est produit par l'Afrique du Sud, le Japon, les États-Unis, l'U.R.S.S. et les pays de l'Europe de l'Ouest. Cependant, au cours des dernières années nous avons assisté à une diminution notable de la part de la production mondiale de ferrochrome du Japon et des États-Unis et à une augmentation équivalente de la production de l'Afrique du Sud. De plus, la capacité de production mondiale de ferrochrome est actuellement supérieure aux besoins.

Il y aura vraisemblablement au cours des années 80 des interruptions dans la chaîne d'approvisionnement en ferrochrome, c'est-à-dire au niveau des approvisionnements de chrome qui sont des plus importants pour l'économie canadienne. Ces interruptions auront surtout lieu en Afrique du Sud mais elles devraient être brèves (quelques mois plutôt que quelques années).

Les États-Unis se sont constitués une réserve générale de ferrochrome, mais l'importance et la qualité des matériaux entreposés commencent à être mises en doute.

RÉFÉRENCES

1 F. Ergunalp, "Chromite Mining and Processing at Kavak mine, Turkey", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 89, partie A, octobre 1980, pp. A179-A194.

2 Le personnel, "IISI Charts the Chrome Revolution", Metal Bulletin, n° 6626, 29 septembre 1981, p. 17.

3 Ibid

4 Le personnel, "Barlow Rand: Industrials and Mining Profits Up", Mining Journal, vol. 297, n° 7630, 13 novembre 1981, p. 377.

5 J.L. Morning, N.A. Matthews et E.C. Peterson, "Chromium": Chapitre de la publication Mineral Facts and Problems, de l'édition 1980, p. 14.

6 R.J. Wicks, "Moving Toward Stability", American Metal Market, vol. 89, n° 243, 17 décembre 1981, pp. 11 et 12.

PARTIE V. AUTRES SOURCES POSSIBLES D'APPROVISIONNEMENT

Chromite

(i) En provenance de producteurs canadiens possibles

On compte plus de 250 gisements connus de chromite au Canada y compris les gisements de types podiforme et stratiforme. Cependant, rares sont les gisements où les ressources ont été mesurées. Aucun gisement connu ne contient de chromite réfractaire à teneur élevée en alumine qui représente presque toute la consommation actuelle du Canada en concentrés et minéraux importés. Par conséquent, ces ressources ne représentent pas de sources possibles d'approvisionnement pour les consommateurs actuels. Cependant, le minerai à teneur élevée en fer et en chrome trouve certaines applications dans la fabrication de produits réfractaires; cette catégorie de minerai n'est donc pas à ignorer s'il faut trouver des ressources canadiennes dont les propriétés les rendent aptes à servir de produits réfractaires. Ces ressources peuvent donc s'avérer précieuses si jamais il y a reprise de la production de ferrochrome au pays.

Les gisements podiformes abondent surtout dans la bande de serpentine de la chaîne des Appalaches qui s'étend de la frontière séparant le Québec et le Vermont jusqu'à l'ouest de Terre-Neuve en passant par la péninsule de la Gaspésie. On trouve également des venues de gisements podiformes dans la Cordillère surtout dans le centre sud de la Colombie-Britannique et au Yukon. Les gisements stratiformes sont localisés dans le Bouclier canadien surtout dans le Sud-Est du Manitoba et dans le Nord-Ouest de l'Ontario. Très peu de projets de recherche de chromite ont été exécutés au Canada depuis la dernière guerre mondiale, période au cours de laquelle de grands progrès ont été enregistrés au niveau des connaissances géologiques des roches ultramafiques qui servent d'hôte à ce type de minerai. Les venues possibles de gisements alluvionnaires de chromite ne devraient pas être omises. Par exemple, des concentrations de chromite détritique ont été observées dans des sables de plages et des sédiments de bassin à Port-au-Port, Terre-Neuve[1]. Même s'il y a certainement des zones prometteuses où il est possible d'exécuter des projets d'exploration, la découverte de nouvelles ressources importantes est actuellement impossible à prédire.

Chaque gisement particulier de chromite canadienne doit être évalué afin de déterminer si le minerai peut répondre à la demande des quatre principaux produits. Une récente étude exécutée par Raicevic[2], des travaux d'enrichissement de CANMET, donne un bon aperçu des ressources canadiennes. Nos gisements de minerai de chromite présentent une teneur faible en chrome et élevée en fer. L'utilisation directe dans des applications classiques pourrait être limitée au minerai de petites zones de certains gisements et il faudrait généralement l'enrichir pour obtenir des concentrés de chromite de catégorie supérieure. Il s'agit alors de broyer le minerai en grains fins puis de le soumettre à différentes techniques de séparation par gravité (criblage, concentration sur tables), flottation et(ou) séparation magnétique. Par contre, Downes et Morgan[3] de la Direction des mines ont étudié un certain nombre de techniques chimiques. Il ressort de ces travaux que des catégories acceptables de concentrés de chromite pourraient être produites à partir du minerai d'un certain nombre de gisements canadiens. Cependant, les coûts d'application de ces procédés augmenteraient grandement le coût des produits de chrome.

Il existe d'importantes ressources mesurées de chromite dans la région de Bird River, dans le sud-est du Manitoba et dans les Cantons de l'Est, dans le sud du Québec. Ce sont les gisements de Bird River qui sembleraient actuellement les plus prometteurs pour l'exécution de projets de mise en valeur.

(a) **Bird River, Manitoba.** De la chromite a été découverte en 1942 dans le filon-couche de Bird River dans la région du lac du Bonnet au Manitoba; les travaux ultérieurs d'exploration ont révélé l'existence de ressources considérables qui se trouvent comprises dans quatre propriétés[4,5].

D'après les résultats des travaux, la propriété Page renfermerait des ressources mesurées et indiquées d'environ 1,58 million de tonnes titrant 25,2 % de Cr_2O_3 dans une zone de 3 050 m de long ayant en moyenne 1,9 m de largeur jusqu'à 99 m de profondeur[6]. D'autres ressources présumées de 4,03 millions de tonnes se trouveraient à 305 m de profondeur et s'étendraient sur une distance totale de 3 500 m.

La propriété Chrome renferme des ressources mesurées et indiquées de 2,09 millions de tonnes d'une teneur de 18,2 % de Cr_2O_3 dans une zone de 1 360 m de long, de 2,6 m de largeur moyenne et de 198 m de profondeur. Les ressources présumées jusqu'à 305 m de profondeur sur cette zone atteindraient 1,12 million de tonnes.

Les ressources mesurées et indiquées du gisement de Bird Lake renferment 5,93 millions de tonnes d'une teneur de 7 % de Cr_2O_3 dans une zone de 2 130 m de long, de 40 m de large et de 61,0 m de profondeur. Des ressources additionnelles de 11,7 millions de tonnes sont présumées si on se fonde sur l'hypothèse que la zone s'étend jusqu'à 183 m de profondeur.

Les réserves totales mesurées et indiquées du gisement Euclid Lake sont de 9,08 millions de tonnes d'une teneur de 4,6 % de Cr_2O_3 dans une zone de 373 m de longueur, de 31 m de largeur et de 244 m de profondeur. Si l'on se fie à l'hypothèse que le gisement s'étend jusqu'à 366 m de profondeur, les ressources additionnelles présumées atteindraient 4,54 millions de tonnes.

Les ressources mesurées, indiquées et présumées des propriétés Page et Chrome représentent jusqu'à 8,8 millions de tonnes de minerai d'une teneur moyenne pondérée de 22,6 % de Cr_2O_3 alors que les ressources totales des quatre propriétés sont évaluées à 40 millions de tonnes d'une teneur moyenne de 9,6 % de Cr_2O_3. Cependant, comme le signale Bateman[7], ces estimations sont fondées sur une exploration détaillée de seulement la moitié de la longueur probable du massif de péridotite qui renferme les gisements et par conséquent l'importance véritable des ressources peut être très supérieure. Si ces gisements n'ont pas été mis en valeur au cours des dernières années, c'est du fait qu'on y trouve du minerai de catégorie inférieure ayant un faible rapport Cr/Fe.

Dans son étude de la technologie applicable aux gisements de Bird River, Raicevic[8] conclut qu'il serait possible de recourir à une combinaison de procédés pyrométallurgiques et de traitement du minerai pour exploiter ces ressources. Par la concentration sur tables d'un échantillon contenant 18 % de Cr_2O_3, il a pu récupérer 78 % du chrome contenu dans un concentré dont la teneur en Cr_2O_3 est de 42 % et le rapport Cr/Fe est de 1,5. Ce rapport est donc trop faible pour que le produit puisse servir à des applications classiques. Le grillage du concentré avec du carbonate de sodium anhydre qui est ensuite lixivié et précipité permet d'obtenir un oxyde de chrome à teneur élevée et dont le rapport Cr/Fe est supérieur au niveau souhaité de 3. La lixiviation par acide sulfurique du concentré qui est ensuite calciné à 1 000°C donne de la chromite de catégorie métallurgique dont le taux de récupération atteint 75 %. Même si les méthodes d'enrichissement ne permettent pas de répondre aux spécifications conventionnelles à moins de recourir au traitement chimique très coûteux, des concentrés de catégorie inférieure (de 40 à 45 % de Cr_2O_3) pourraient être utilisés pour la production de ferrochrome grâce à la nouvelle technologie de fonte[9].

(b) **Cantons de l'Est, Québec.** Dès 1861, des échantillons de chromite ont été extraits à des fins d'analyse dans les Cantons de l'Est, au Québec. Cependant la production véritable n'a commencé qu'en 1894. Vers la fin du siècle, cette

région fournissait environ 5 % des approvisionnements annuels du monde. La mise en valeur de gisements à l'étranger surtout au Zimbabwe a entraîné une diminution rapide de la production des mines du Québec qui ont été fermées en 1910. L'extraction a repris avec l'augmentation de la demande et de l'incertitude concernant les approvisionnements étrangers au cours des deux guerres mondiales. De 1894 à 1949, la production cumulative de chromite des Cantons de l'Est était d'environ 1/4 de million de tonnes. La qualité d'une partie du minerai était suffisamment acceptable pour qu'il soit expédié directement mais la plus grande partie était transformée en concentrés contenant environ 48 % de Cr_2O_3 et dont le rapport Cr/Fe variait de 2,4 à 2,8. Au moins 44 gisements distincts ont été exploités mais la plupart étant très petits, la production variant de quelques dizaines à quelques centaines de tonnes[10,11,12]. Quatre des plus grands gisements contenaient encore des réserves importantes au moment de l'arrêt des travaux d'extraction à la fin de la deuxième guerre mondiale. Le gisement Reed-Bélanger situé immédiatement au sud de Black Lake a été exploité par la Wartime Metals Corporation entre 1942 et 1944. Au moment de la fermeture de la mine, les réserves de minerai étaient évaluées à 441 000 tonnes d'une teneur variant entre 6 à 8,5 % de Cr_2O_3 pour la partie Reed où le minerai se trouve à 115 m de profondeur. Par ailleurs, les réserves "probables" de la section Bélanger étaient évaluées à 500 000 tonnes titrant 6,1 % de Cr_2O_3 à des intervalles de profondeur variant entre 46 et 101 m. Les deux autres gisements situés à moins de 1 km de la mine Reed-Bélanger contiennent de petites réserves indiquées à la suite de forages. Le gisement Provençal à 30,5 m de profondeur comprend près de 24 000 tonnes de minerai d'une teneur de 20,5 % alors que les réserves de la mine Caribou étaient évaluées à 40 600 tonnes titrant 20,5 % de Cr_2O_3. Les ressources de la mine Sterrett, à St-Cyr près d'Asbestos, au Québec, étaient évaluées entre 68 et 82 000 tonnes titrant 18 % de Cr_2O_3. Le minerai se trouve à des intervalles de profondeur de 146 à 177 m.

CANMET a signalé[13] l'exécution d'essais à échelle réduite dans plusieurs gisements du Québec. La concentration sur tables du minerai du gisement de Black Lake permet d'obtenir des concentrés d'une teneur de 47 % de Cr_2O_3 ayant un taux de récupération de 60 %. Un échantillon de minerai de la mine St-Cyr contenait 31 % de Cr_2O_3 et l'utilisation d'un tamis et d'une table à boues, a permis d'obtenir un concentré contenant 48 % de Cr_2O_3. Les résultats de l'étude sur la récupération du chrome des résidus d'amiante ont été décourageants.

(c) **Autres régions.** Des ressources d'une importance indéterminée ont été signalées dans d'autres régions que celles susmentionnées. De la chromite a été découverte au lac Obanga à environ 130 km au nord de Thunder Bay, en Ontario, en 1928 et les travaux d'exploration ont permis d'identifier sept zones prometteuses. La zone E mise en valeur entre 1935 et 1937 a fourni 6 210 tonnes de minerai dont la teneur variait de 13 à 30 % de Cr_2O_3. La dimension de la zone et la teneur du minerai prévues au cours des travaux d'exploration en surface n'ont pas été confirmées par les travaux souterrains et la propriété a donc été fermée en 1938. À ce moment, l'exploitant signalait que les réserves de la zone E étaient évaluées à 22 700 tonnes d'une teneur de 12 % de Cr_2O_3 et que le minerai se trouvait à 107 m de profondeur. Les "réserves possibles" de la zone A située à 137 m de profondeur étaient évaluées à 900 000 tonnes d'une teneur de 7 %. D'autres grands gisements possibles de chromite à teneur élevée en fer ont été signalés au lac Big Trout dans le Nord-Ouest de l'Ontario[14].

Plusieurs centaines de tonnes de matériaux ont été extraites de la propriété Anarchist près de Bridesville en Colombie-Britannique. Le gisement était évalué à 100 000 tonnes en 1957. L'analyse d'un échantillon pris au hasard a révélé que le minerai présentait une teneur de 26,7 % de Cr_2O_3 et un rapport Cr/Fe de 3,15. Une quantité analogue de matériaux ont été extraits à Scottie Creek près de Ashcroft en Colombie-Britannique. Les ressources étaient évaluées à environ 18 000 tonnes de minerai d'une teneur de 15 % de Cr_2O_3.

Dans les études sur la préparation du minerai qu'il a effectuées aux laboratoires de CANMET, Raicevic[15] incluait les échantillons de minerai provenant de la Colombie-Britannique, de Terre-Neuve, de l'Ontario ainsi que les échantillons susmentionnés en provenance du Manitoba et du Québec. Un échantillon extrait à Port-au-Port, à Terre-Neuve, a été traité par criblage et par concentration sur tables pour obtenir un concentré d'une teneur de 53 % de Cr_2O_3 et présentant un rapport Cr/Fe de 2,7.

Les immenses gisements de magnétite à teneur de titane qui n'ont pas encore fait l'objet de travaux de mise en valeur au mont Magpie sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, au Québec, constituent une grande ressource potentielle en chrome bien que ce métal n'y serait extrait que comme un sous-produit. Cette ressource a été estimée à un milliard de tonnes d'une teneur de 1,6 % de Cr_2O_3.

Une étude récente effectuée à CANMET[16] a démontré que 85 % du chrome peut être récupéré par traitement de grillage et de lixiviation d'un concentré de chrome de 2,02 %.

(ii) En provenance de sources étrangères actuelles et éventuelles

Ces dernières années, les approvisionnements canadiens de minerai et de concentrés de chromite provenaient de la Mozambique (minerai extrait surtout en Afrique du Sud), des États-Unis (la moitié du minerai provenait des mines des Philippines et le reste de l'Afrique du Sud) et directement des Philippines. L'Albanie, la Finlande, la Turquie et d'autres pays ont directement fourni une faible partie des approvisionnements canadiens.

Les Philippines et Cuba sont les principaux fournisseurs de chromite réfractaire à teneur élevée en aluminium qu'utilisent les pays non communistes. Cependant, les livraisons de Cuba ne représentent environ qu'un dizième de la capacité de production des Philippines. L'Union Soviétique produit également un peu de chromite à teneur élevée en alumine[17]. En raison de la diminution prévue de la demande de produits réfractaires à base de chrome et de la nature des minérais individuels, l'accroissement de la capacité mondiale d'extraction est surtout axé sur du minerai de catégorie ferrochrome. Par conséquent, de tous les producteurs actuels et éventuels de chromite, aucun d'eux ne peut représenter une source possible d'approvisionnement de chromite à teneur élevée en aluminium en cas d'interruption prolongée des approvisionnements des Philippines. Cependant, les consommateurs pourront, le cas échéant, se procurer des matériaux de remplacement à teneur élevée en fer ou en chrome de qualité acceptable, ou utiliser des produits réfractaires exempts de chromite. Le Brésil représente une autre source éventuelle d'approvisionnements en chromite à teneur élevée en fer en cas d'interruption des approvisionnements de la Finlande et de l'Afrique du Sud. Le Canada n'est actuellement pas un grand consommateur de chromite à teneur élevée en fer et étant donné qu'au moins 12 pays sont de grands producteurs de cette catégorie de minerai, toute interruption des approvisionnements de chromite à teneur élevée en chrome en provenance des sources actuelles n'aurait probablement pas de fortes répercussions.

Compte tenu de la situation, cela vaut la peine de tenir compte des ressources étrangères qui peuvent être mises en production au cours des prochaines années même si aucun plan de mise en valeur n'a été annoncé jusqu'à maintenant. En ce qui concerne les ressources en chromite, la situation des États-Unis est, sous de nombreux aspects, semblable à celle du Canada. Le complexe de roches ignées de Stillwater au Montana renferme un grand gisement stratiforme. La chromite extraite de 1941 à 1943 et de 1953 à 1961 a donné des concentrés dont la teneur en Cr_2O_3 variait de 38 à 42 % avec un rapport Cr/Fe d'environ 1,6. Les ressources étaient évaluées à environ 14,5 millions de tonnes titrant en moyenne 12 % de Cr_2O_3[18]. Le complexe de Stillwater représente près des trois quarts des ressources des États-Unis. Le reste est constitué par de petits gisements podiformes dans la région de la Cordillère en Oregon, en Californie, dans l'État de Washington et également en

Alaska. La production possible de chrome ainsi que de nickel et de cobalt des grands gisements de latérite de la Californie fait actuellement l'objet d'études. Par exemple, la California Nickel Corp. signale la présence de réserves probables et supputées de 33,4 millions de tonnes titrant en moyenne 0,865 % de nickel, 0,094 % de cobalt et 2 % de Cr_2O_3. Si la récupération de la chromite comme sous-produit de la production du nickel des gisements de latérite devenait économiquement rentable, la situation des ressources en chromite serait considérablement modifiée. Il semble que quelques-uns des plus grands producteurs de latérite-nickel accumulent actuellement des stocks de résidus prévoyant d'y récupérer un jour du chrome[19].

Un nouveau grand gisement stratiforme de chromite a été découvert dans le district de Sodankyla en Finlande à environ 250 kilomètres au nord de la mine actuelle de chromite à Kemi. Le gisement de Koitelainen contiendrait, selon des estimations, 47 millions de tonnes titrant environ 20 % de Cr_2O_3 ainsi que des quantités importantes de platine métal et de métaux du groupe platine (0,6 gramme la tonne)[20].

Il existe un immense gisement non exploité de chromite de catégorie inférieure dans la région de Fiskenaessett, dans la partie ouest du Groenland. Selon les estimations de Ghisler[21], ces gisements stratiformes atteignant jusqu'à 100 mètres de profondeur pourraient contenir environ 100 millions de tonnes de matériaux titrant en moyenne 12 % de Cr_2O_3. Les concentrés obtenus de ces matériaux titraient 32 % de Cr_2O_3 et 36,6 % de FeO et présentaient un rapport Cr/Fe d'environ 0,77.

Ferrochrome

En provenance de producteurs canadiens possibles

La technique de préparation mécanique du minerai permet d'enrichir en laboratoire des échantillons de chromite canadienne de catégorie inférieure pour les rendre propre à la production de ferrochrome[22]. La technique consistant à obtenir un oxyde distinct de chrome à teneur élevée par une combinaison des procédés hydrométallurgiques et pyrométallurgiques permet également d'obtenir des produits de la chromite de catégorie commerciale. Il est par ailleurs possible d'effectuer une lixiviation sélective du fer pour améliorer les rapports chrome-fer dans les concentrés de chromite. Cependant, l'application de ces techniques peut augmenter considérablement les coûts des charges d'alimentation utilisées pour la production du ferrochrome.

Le U.S. Bureau of Mines a démontré qu'il était possible de produire du ferrochrome à partir de chromite de catégorie inférieure du même type que celle que l'on trouve dans les gisements canadiens[23]. L'utilisation de cette variété de chromite entraîne une augmentation de la consommation d'énergie et une diminution du taux de récupération de chrome.

Les récentes études de l'Ontario Research Foundation (ORF)[24] et de CANMET[3] ont porté sur l'utilisation de procédés pyrométallurgiques pour la fabrication de produits de chrome de qualité commerciale. L'ORF a transformé de l'oxyde de chrome en carbure de chrome par la réduction et la cémentation avec du charbon à une température d'environ 1 400°C. Un produit contenant 42 % de Cr et 35 % de Fe a pu être obtenu par séparation magnétique. Il s'agit d'un type de ferrochrome de catégorie inférieure à teneur élevée en carbone propre à servir d'additif direct dans l'acier utilisé dans la plupart des applications. Aux laboratoires de CANMET, Qayyum et Reeve[25] ont produit une éponge de ferrochrome par réduction de la chromite dans des mélanges de méthane et d'hydrogène à une température de 1 000°C.

Ces nouvelles techniques, encore à l'étape de la mise au point, doivent faire concurrence à la méthode classique carbothermique utilisée en fonderie (four électrique) qui a été considérablement améliorée ces dernières années. La société Outokumpu (Finlande) a annoncé la mise au point d'un procédé de fonte de concentrés de catégorie inférieure et à grains fins dans ses installations de traitement du

chrome de charge. Ce procédé qui fait appel à l'agglomération, le préchauffage et la fonte des concentrés dans un four électrique permet des économies au niveau de la consommation d'énergie. Au Royaume-Uni, la Foster-Wheeler Corporation a mis au point en collaboration avec la Tetronics Research & Development un réacteur à plasma (plasma de courte fréquence en continu) qui a donné de bons résultats au cours d'essais effectués dans une petite installation de production de ferrochrome. Au Canada, la Tibur Metals a effectué des essais à petite échelle dans son four à arc électrique qui constitue un type de réacteur au plasma. Les améliorations apportées à la technique classique offrent d'excellentes possibilités de production de ferrochrome à partir de concentrés de chromite qui ne répondent pas aux spécifications traditionnelles fixées pour le minerai de chrome métallurgique.

Produits chimiques à base de chrome

En provenance de producteurs canadiens possibles

La catégorie du minerai de chrome utilisé n'est pas aussi importante pour la production de produits chimiques à base de chrome qu'elle l'est pour la fabrication de produits réfractaires à base de chrome et de chrome métallurgique. Cependant, le minerai de catégorie supérieure permet de réduire les coûts de traitement par le grillage et d'obtenir des rendements supérieurs. Par conséquent, la catégorie de minerai représente donc un facteur économique. La demande de produits chimiques à base de chrome n'est pas en soi suffisante pour justifier la mise en valeur du minerai.

Produits réfractaires à base de chrome

En provenance de producteurs canadiens possibles

Pour déterminer si la chromite canadienne peut être utilisée dans la fabrication de briques réfractaires, il faut évaluer les catégories de concentrés que l'on peut tirer des différents gisements canadiens. Cependant, la demande est à la baisse et d'autres produits réfractaires comme les briques à teneur élevée en magnésium sont maintenant offerts sur le marché.

Conclusions de la Partie V

La chromite a déjà été exploitée au Canada (jusqu'en 1974) pour la production de différentes catégories de ferrochrome. Cependant, le Canada ne dispose plus d'installations de fabrication de ce produit.

La région de Bird River, dans le Sud-Est du Manitoba et les Cantons de l'Est, dans le Sud du Québec, sont les deux principales régions du Canada où l'on trouve de grandes ressources mesurées de chromite.

Il existe un grand nombre de techniques actuellement à l'essai que l'on peut utiliser pour la production de chromite de catégorie métallurgique et de ferrochrome à partir de ressources canadiennes de chromite. L'aspect économique et les possibilités d'application de ces techniques devront être évalués en fonction des besoins canadiens. Actuellement, les gisements de Bird River semblent les plus prometteurs pour une exploitation future.

Parmi les différents gisements connus de chromite au Canada, aucun ne peut être classé dans la catégorie réfractaire (à teneur élevée en alumine). Cependant, la chromite à teneur élevée en fer et en chrome est maintenant utilisée dans la fabrication de certains produits réfractaires.

Puisque tout le minerai et les concentrés de chromite que le Canada importe sont utilisés pour la fabrication de produits réfractaires et comme sables de fonderie et que la production d'un ou de deux petits gisements "mis en veilleuse" permettrait de répondre aux besoins intérieurs en cas de brève interruption des approvisionnements, il convient d'évaluer dans quelle mesure la chromite canadienne peut être utilisée pour la fabrication de produits réfractaires et comme sables de fonderie.

RÉFÉRENCES

[1] P.A. Hill and A.E. Ruest, "Heavy Minerals and Metals in Port au Port Bay, Newfoundland," Economic Geology, vol. 76, n° 4, juin-juillet 1981, pp. 961-970.

[2] D. Raicevic, "Technical Review of ore dressing investigations on Canadian chromite ores conductes at CANMET from 1918 to 1976", Minerals Research Program, Mineral Sciences Laboratories, CANMET Report 76-39, 1976, 58pp.

[3] K.W. Downes, et D.W. Morgan, "Utilization or low grade domestic chromite", Canada, Mines Branch Memorandum Series No. 116, 1951, 42 pp.

[4] J.D. Bateman, "Bird River Chromite Deposits, Manitoba", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, vol. 46, 1943, pp. 154-183.

[5] J.F. Davies, "Chromite Deposits of Southeastern Manitoba", Canadian Mining Journal, vol. 79, n°. 4, avril 1958, pp. 112-114.

[6] Le personnel de la Division des ressources minérales, Ministère des mines du Manitoba, "Chromite Reserves and Geology of the Bird River Sill, Manitoba", Manitoba Department of Energy and Mines, Mineral Resources Division, Open File Report 82-1, 1982.

[7] Bateman op. cit.

[8] D. Raicevic, "Methods for Chromium Recovery from Manitoba Bird River Chromite Deposits". Canadian Mining Journal, vol. 98, n° 11, novembre 1977, pp. 61-68.

[9] H. Tuovinen, J. Relander et M. Honkaniemi, op. cit. pp. 127-133.

[10] B.T. Denis, "Les gisements de chromite des Cantons de l'Est de la province de Québec", Bureau des mines du Québec, Rapport annuel, 1931, partie D, p. 106.

[11] C.H. Stockwell, "Chromite Deposits of the Eastern Townships, Québec", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, vol. 47, 1944, pp. 71-86.

[12] R. Marcotte, "Gîtes et indices de chromite au Québec", Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Document public Varia, DPV-724, novembre 1980, p. 58.

[13] D. Raicevic, CANMET, Rapport 76-39, cit.

[14] P.J. Whittaker, "Chromite Deposits in Ontario", Ontario Geological Survey, Open File Report 5306, 1980.

[15] D. Raicevic, Rapport 76-39 de CANMET, cit.

[16] B.H. Lucas, et G.M. Ritcey, "An Alkine Roast-leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum". CIM Bulletin 73, n° 821, septembre 1980, pp. 126-132.

17 S.V. Meskaleva, "Chromium" dans D.V. Rundkvist, (ed.), "Criteria of Forecast Associations of Regions for Useful Solid Mineral Deposits", Leningrad, Nedra Publishing House, 1975.

18 G.A. Kingston, R.A. Miller et F.I. Carillo, "Availability of U.S. Chromium Resources", U.S. Bureau of Mines. Information Circular 8465, Washington, D.C., G.P.O., 1970, 23 pp.

19 Le personnel, "California Nickel Studies Cr/Co/Ni Project" Metal Bulletin, n° 6575, 24 mars, 1981, p. 17.

20 T. Mutanan, "A New Type of Platinum-bearing Chromite Ore in the Kaitelainen Mafic Layered Intrusion, Northern Finland", dans D. Pretorius, (ed.) Third International Platinum Symposium, Abstract of Papers, Pretoria, Society of Economic Geologists and the Geological Society of South Africa, 1981, p. 28.

21 M. Ghisler, "The Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Pre-orogenic Archaean Stratiform Chromite Deposits at Fiskenaessett, West Greenland", Gebrüder Born Trager, Berlin, 1976, 156 p.

22 Raicevic CANMET Rapport 76-39, cit.

23 J.L. Morning, N.A. Matthews et E.C. Peterson, "Chromium": Chapitre de la publication Mineral Facts and Problems, de l'édition 1980, U.S. Bureau of Mines, prêtirage du Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, p. 16.

24 H.G. Brandstatter, "Extraction of Chromium from Low-grade Domestic Deposits" Ontario Research Foundation présentation à CANMET, Mineral Sciences Laboratories Seminar, 10 mars 1981.

25 M.A. Qayyum, et D.A. Reeve, "Reduction of Chromites to Sponge Ferrochromium in Methane-hydrogen Mixtures", Canadian Metallurgical Quarterly, vol. 15, n° 3, juillet-septembre 1976, p. 193.

PARTIE VI. MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION

Chrome métal

Outre le ferrochrome et possiblement les unités de chrome obtenues à partir de rebuts d'acier inoxydable, il n'existe aucun matériau pour remplacer le chrome métal comme source de chrome dans les différents alliages.

Ferrochrome

Le chrome métal et possiblement les unités de chrome obtenues à partir de rebuts d'acier inoxydable sont les seuls substituts du ferrochrome comme source de chrome dans les différents alliages. Le chrome est principalement utilisé dans les aciers inoxydables. Il faut un taux nominal d'au moins 12 % de chrome pour obtenir un produit résistant à la corrosion, mais certains alliages en contiennent de 12 à 30 % pour obtenir des combinaisons spéciales de résistance à la corrosion et à l'oxydation lorsque le produit est exposé à des températures élevées.

Il est peu possible de réduire à moins de 12 % la teneur nominale en chrome des aciers inoxydables. Cependant, du molybdène, du cuivre, du silicium, de l'aluminium, du niobium et de l'yttrium peuvent être substitués au chrome lorsque la teneur exigée est supérieure à 12 %. Les alliages de fer-aluminium-manganèse-carbone ont montré une bonne résistance à la corrosion au cours des essais mais il faudra poursuivre la recherche et perfectionner la technique avant de pouvoir remplacer par ces alliages tout le chrome qui entre dans la fabrication des aciers inoxydables à base de chrome.

En cas d'interruption des approvisionnements, d'autres matériaux comme le titane, l'aluminium, le tantale et le zinc pourraient être utilisés dans certaines applications. À plus long terme, de nouvelles technologies comme celles de revêtement, de solidification rapide, d'ébauchage de haute précision et de traitement de surface pourraient être utilisées pour réduire l'emploi du chrome.

L'utilisation du chrome n'a pas autant d'importance dans la fabrication d'autres produits de chrome métal comme les aciers pour les tubes de conduite de grande résistance, les aciers utilisés pour la fabrication de rails et de pièces d'automobiles, les pièces coulées résistantes à la corrosion et les alliages d'aluminium puisque l'on peut obtenir des propriétés équivalentes par d'autres combinaisons d'éléments d'alliages comme le molybdène, le vanadium, le niobium, le nickel et le cuivre.

Autres alliages au chrome

Les alliages de cuivre-nickel-étain qui sont actuellement mis au point pourront éventuellement servir de matériau de remplacement dans les alliages de cuivre contenant plus de 1 % de chrome utilisés en électricité. Les alliages de cuivre-nickel-niobium peuvent être substitués aux alliages de cuivre-nickel-chrome utilisés dans le domaine maritime.

Les alliages d'aluminium préparés au Canada contiennent très peu de chrome que l'on peut remplacer par d'autres additifs comme du fer, du manganèse ou du zirconium. S'il est possible de remplacer le chrome de certains alliages importés à teneur élevée en aluminium (série 7000), il faudra cependant effectuer des essais à grande échelle sur la résistance à la corrosion et à la tension des différents alliages possibles exempts de chrome.

Il existe actuellement des matériaux de remplacement pour les alliages de titanium à teneur en chrome. Cependant, il n'est pas facile de remplacer le chrome qui entre dans la fabrication de la fonte résistant à l'abrasion et des matériaux de rechargement dur utilisés à profusion dans la fabrication de matériel minier et agricole. Même si le tungstène et le vanadium offrent certaines possibilités comme matériaux de remplacement, il faudra perfectionner la technique avant de l'appliquer.

Produits chimiques à base de chrome

Il est actuellement possible de remplacer le jaune de chrome par du jaune de cadmium, du jaune organique et des pigments jaunes d'oxyde de fer mais le produit obtenu n'a pas toutes les propriétés souhaitées.

Produits réfractaires à base de chrome

Faute de pouvoir obtenir de la chromite, il serait nécessaire de la remplacer par des matériaux moins efficaces comme le spinelle, la forstérite ou par de la zircone plus coûteuse. L'industrie de fabrication de produits réfractaires des États-Unis pourrait diminuer d'environ 50 % sa consommation de chromite en utilisant comme matériau réfractaire de la magnésite-chrome plutôt que du chrome ou du chrome-magnésite.

Conclusions de la Partie VI

Les aciers inoxydables doivent contenir un taux nominal d'au moins 12 % de chrome pour être résistants à la corrosion. Il est fort peu probable que l'on puisse en réduire la teneur minimale en-deçà de 12 %. Il est possible d'utiliser du molybdène, du cuivre, du silicium, de l'aluminium, du niobium et de l'yttrium comme matériau de remplacement lorsque la teneur en chrome doit être supérieure à 12 %.

Les essais ont démontré que les alliages de fer-aluminium-manganèse-carbone sont très résistants à la corrosion mais il faudra poursuivre la recherche avant de pouvoir les utiliser comme matériau de remplacement dans les aciers inoxydables à teneur en chrome. Ces alliages ne peuvent entrer dans l'élaboration d'acier utilisé dans des milieux très corrosifs comme c'est le cas de certaines applications très particulières dans les industries chimique et pétrochimique.

En cas d'interruption des approvisionnements, les aciers inoxydables pourraient être remplacés par d'autres matériaux comme le titane, l'aluminium, le tantale et le zinc dans la plupart des applications.

L'utilisation du chrome dans la fabrication de certains autres produits métalliques comme les feuilles servant à la fabrication de tubes de conduites de haute résistance, les aciers utilisés pour la fabrication de rails et de pièces d'automobiles, les alliages d'aluminium et les pièces coulées résistant à la corrosion est beaucoup moins critique puisque l'on peut généralement obtenir des propriétés équivalentes à partir de différentes combinaisons d'éléments d'alliages.

Il existe également des matériaux de substitution inférieurs pour les produits chimiques à base de chrome et les produits réfractaires à base de chromite.

PARTIE VII. RÉSUMÉ

Utilisations au Canada

L'industrie canadienne utilise le chrome sous forme de minerai de chrome et de concentrés, de chrome métal, de ferrochrome, de rebuts d'acier inoxydable, d'autres alliages au chrome, de produits chimiques et de produits réfractaires à base de chrome.

Au Canada, la chromite entre dans la fabrication de différents produits réfractaires. De petites quantités de chrome métal sont utilisées surtout comme agents d'alliage dans les aciers hautement alliés et les alliages à base de nickel-cobalt. Le ferrochrome est un élément important dans la production de l'acier inoxydable; de petites quantités entrent également dans l'élaboration de la fonte et d'autres produits de fonderie ainsi que de superalliages. Des unités de chrome obtenues dans ce but proviennent de rebuts d'acier inoxydable.

L'industrie utilise également, en petites quantités, d'autres alliages au chrome pour fabriquer des pièces d'alliage de cuivre contenant du chrome utilisées pour la fabrication d'appareils électriques, de matériel marin, de produits utilisés par l'industrie aérospatiale et pour la fabrication de matériaux de rechargement dur pour le matériel minier et agricole. Presque tous les produits chimiques à base de chrome consommés au Canada servent au tannage du cuir. Cette catégorie de produits joue également un rôle important dans la fabrication de différents pigments de couleur, pour le chromage et dans la production d'aciers exempt d'étain. Des matériaux réfractaires à base de chrome sont utilisés par les industries canadiennes de fer et d'acier, de fabrication du ciment portland, du verre et de métaux non ferreux.

L'utilisation de chromite pour la fabrication de briques réfractaires a diminué ces dernières années entraînant ainsi une réduction de la consommation globale de chromite par l'industrie de fabrication de produits réfractaires.

Le ferrochrome est considéré comme le matériau le plus important pour l'industrie nationale. En comparaison, la chromite utilisée dans la fabrication de produits réfractaires, de produits chimiques à base de chrome, de chrome métal et d'autres alliages au chrome est un peu moins importante à l'échelle nationale.

Sources actuelles

Actuellement, le Canada dépend entièrement des importations pour répondre à ses besoins en sous-produits du chrome sauf en ce qui concerne les rebuts d'acier inoxydable et les produits réfractaires à base de chrome qu'il fabrique à partir de chromite importée et certains produits chimiques secondaires à base de chrome. En 1980, le minerai et les concentrés importés nous étaient expédiés via le Mozambique (point intermédiaire de départ des expéditions provenant de l'Afrique du Sud) et également par l'entremise des États-Unis (point intermédiaire des expéditions provenant des Philippines, de l'Afrique du Sud et de certaines autres sources à destination du Canada). Du minerai et des concentrés étaient également importés directement des Philippines et en quantités moindres de l'Albanie et de quelques autres pays.

Le ferrochrome provient de trois grandes sources: l'Afrique du Sud, les États-Unis et le Brésil. Ces pays ont fourni à eux seuls 90 % de nos importations de ferrochrome en 1979 et 1980.

Le Canada fabrique certains alliages d'aluminium-zinc à teneur en chrome à partir du chrome métal importé. Des alliages d'aluminium à teneur en chrome de la série magnésium et magnésium-silicium peuvent également être fabriqués au Canada. Tous les autres alliages de chrome non ferreux sont importés.

Les produits chimiques à base de chrome sont surtout importés des États-Unis qui fournissent plus de 80 % de nos approvisionnements. Le reste provient de quelques autres pays.

Certaines matières premières utilisées pour la fabrication du ferrochrome, du chrome métal et des autres alliages à base de chrome ainsi que des produits chimiques à teneur en chrome qui sont fabriqués dans d'autres pays puis envoyés au Canada soit directement des États-Unis soit par l'entremise de ce pays peuvent provenir d'Afrique du Sud.

Presque tous les produits réfractaires à base de chrome dont le Canada a besoin sont fabriqués au pays à partir de concentrés et de minerai importés. Cependant les États-Unis nous fournissent un peu de briques réfractaires à base de chrome.

Approvisionnements mondiaux

La production mondiale de chromite est concentrée dans un nombre relativement restreint de pays notamment la République d'Afrique du Sud, l'U.R.S.S., l'Albanie, les Philippines, le Zimbabwe et la Turquie.

Selon les estimations actuelles, il ne devrait pas y avoir de pénurie de chromite à moins de circonstances spéciales qui entraîneraient une diminution des approvisionnements de l'Afrique du Sud et des Philippines. Cependant, il est prévu que "d'ici l'an 2000, les ressources [des Philippines] en chromite [(de catégorie réfractaire) à teneur élevée en aluminium] seront considérablement réduites"[1]. Même si la capacité actuelle de production dépasse les besoins, plusieurs pays ont élaboré des plans de mise en production de nouvelles mines de chromite afin d'alimenter leurs industries intérieures de fabrication de ferrochrome.

L'Afrique du Sud, le Japon, les États-Unis, l'U.R.S.S. et les pays de l'Europe de l'Ouest sont les principaux producteurs mondiaux de ferrochrome. Ces dernières années, les parts du Japon et des États-Unis de la production mondiale de ferrochrome ont sensiblement diminué alors que la production d'Afrique du Sud a augmenté dans une proportion équivalente. La capacité de production de ferrochrome dépasse maintenant la demande. Il ne devrait pas y avoir, au cours des années 80, aucune interruption de la chaîne d'approvisionnement en ferrochrome provenant surtout de l'Afrique du Sud et qui constitue le matériau à base de chrome le plus important pour l'économie canadienne. Des pénuries à court terme sont toutefois à prévoir; elles pourraient cependant durer quelques mois et non pas quelques années.

Les États-Unis maintiennent des stocks de réserves stratégiques de matériaux à base de chrome. Cependant les quantités et la qualité des matériaux entreposés sont contestées.

Sources intérieures possibles

De la chromite a déjà été extraite au Canada pour servir à la production de différentes catégories de ferrochrome (jusqu'en 1974). Cependant notre pays ne possède plus les installations nécessaires pour fabriquer ces matériaux. Des ressources de dimensions considérables de chromite se trouvent surtout dans la région de Bird River dans le Sud-Est du Manitoba et dans les Cantons de l'Est, dans le Sud du Québec.

Il est actuellement possible d'utiliser de nombreuses techniques tant expérimentales qu'avancées pour produire de la chromite de catégorie métallurgique et du ferrochrome à partir de la chromite des gisements canadiens. Il reste cepen-

dant à évaluer, dans un contexte canadien, la rentabilité et la faisabilité de ces techniques. Actuellement, les gisements de Bird River semblent les plus prometteurs pour des projets futurs de mise en valeur. Aucun gisement connu de chromite canadienne ne renferme du minerai de catégorie réfractaire (à teneur élevée en alumine). Cependant, de la chromite à teneur élevée en fer et en chrome trouve, dans une certaine mesure, des applications dans la fabrication de produits réfractaires. Puisque les importations canadiennes de minerai et de concentrés de chromite servent surtout à la fabrication de produits réfractaires et de sables de fonderie et étant donné que l'exploitation d'un ou de deux petits gisements "mis en veilleuse" permettrait de répondre, à court terme, aux besoins canadiens en cas d'interruption des approvisionnements étrangers, cela vaut donc la peine d'évaluer dans quelle mesure la chromite canadienne peut servir à la fabrication de produits réfractaires et de sables de fonderie.

Substituts

Les aciers inoxydables doivent contenir un pourcentage nominal d'au moins 12 % de chrome pour être résistants à la corrosion, pourcentage qu'il est à peu près impossible de réduire. Cependant, pour toute quantité excédentaire à 12 %, le chrome peut être remplacé par du molybdène, du cuivre, du silicium, de l'aluminium, du niobium et de l'yttrium.

C'est un fait notoire que les alliages de fer-aluminium-manganèse-carbone sont très résistants à la corrosion. Cependant il faudra accentuer les projets de recherche et de développement à l'égard de ces alliages afin de déterminer s'ils peuvent remplacer le chrome utilisé dans la fabrication d'aciers inoxydables. Il est toutefois impossible de le remplacer dans les aciers inoxydables utilisés dans des milieux très corrosifs surtout pour des applications très particulières dans les industries chimiques et pétrochimiques.

En cas d'interruption des approvisionnements, certains matériaux comme le titane, l'aluminium, le tantale et le zinc pourraient remplacer les aciers inoxydables dans la plupart de leurs applications.

L'utilisation du chrome dans d'autres produits métalliques comme les feuilles servant à la fabrication de tubes de conduite de haute résistance, les aciers utilisés pour la fabrication de rails et des pièces d'automobiles, les pièces coulées résistantes à la corrosion et les alliages à base d'aluminium est beaucoup moins importante en raison de propriétés équivalentes que l'on peut obtenir en combinant certains éléments d'alliages.

Il existe également des matériaux de substitution inférieurs pour les produits chimiques à base de chrome et les produits réfractaires à base de chromite.

Stocks

Le Canada ne possède pas de stocks de réserves nationaux de matériaux à base de chrome. Les réserves de chromite de catégorie réfractaire et de chrome métal des industries canadiennes et de ferrochrome des importateurs représentent, selon les dernières estimations, l'équivalent d'une consommation de deux à trois mois. Les stocks de ferrochrome des usagers industriels sont habituellement maintenus à un niveau minimal qui représente les besoins d'une à deux semaines. Les stocks de produits chimiques à base de chrome correspondent habituellement à la consommation d'une à six semaines.

Le coût d'acquisition de stocks de réserves de chromite/ferrochrome équivalents à quelque six mois des importations canadiennes est évalué à 17,5 millions $, sans compter les frais d'entreposage. Quant aux frais de transport, ils pourraient s'élever à 3 millions $ par année.

RÉFÉRENCES

[1] J.L. Morning, N.A. Matthews et E.C. Peterson, op.cit., p.14.

PARTIE VIII. RECOMMENDATIONS

A l'heure actuelle au Canada, il n'y a pas de pénurie de ferrochrome, matériau critique pour l'industrie de l'acier inoxydable et des alliages spéciaux, ni de chromite réfractaire, produit important pour les industries de la sidérurgie, du ciment portland, du verre et des métaux non ferreux, mais cette possibilité apparente d'interruptions prochaines peut justifier des recommendations de mesures à prendre. Toute interruption du genre durant les années 80 se solderait vraisemblablement par une perturbation de plusieurs mois de l'acheminement du ferrochrome et de la chromite en provenance de l'Afrique du Sud.

Bien que, jusqu'à présent, le gouvernement canadien n'ait pas jugé nécessaire de jouer un rôle, du moins en temps de paix, pour assurer la sécurité des approvisionnements en chrome du Canada, une certaine planification de sa part permettrait d'accroître la marge de manoeuvre en cas d'interruption inattendue (tableau 17). À cette fin, il est recommandé au ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources:

1) d'obtenir une analyse des risques politiques dans les pays qui composent la filière des approvisionnements en chrome du Canada, en vue d'évaluer plus amplement la vulnérabilité globale du réseau canadien d'approvisionnement en chrome;

2) de préparer une analyse approfondie des modalités existantes et proposées dont disposent les autres pays industrialisés pour constituer leurs réserves stratégiques de minéraux; et,

3) en fonction des éléments susmentionnés, d'élaborer une politique canadienne appropriée en vue de minimiser les répercussions des éventuelles interruptions à court terme des approvisionnements en en chrome.

De plus, il conviendrait de trouver des façons de réduire la dépendance du Canada envers les importations et, par conséquent, sa vulnérabilité aux interruptions à long terme des approvisionnements en chrome:

1) en utilisant la chromite produite au Manitoba et/ou au Québec pour fabriquer du ferrochrome, des aciers et des alliages à teneur en chrome, et/ou des produits réfractaires à base de chrome;

2) en encourageant la recherche géologique qui pourrait entraîner la découverte de gisements de chromite plus prometteurs que ceux qui sont déjà connus; et

3) en encourageant la recherche en vue de mettre au point des aciers ou des alliages qui contiennent peu ou pas de chrome et/ou d'autres produits réfractaires.

TABLEAU 17

Mesures Actuellement Possibles à Prendre en cas d'Interruption des Approvisionnements de Matériaux à Base de Chrome

Durée prévue de l'interruption	Sous-produits du chrome				
	I Minerais et concentrés de chrome		II Ferrochrome (FeCr)	III Autres alliages à base de chrome	IV Produits chimiques à base de chrome
A. De 2 à 6 mois	a) Catégorie réfractaire i) Chercher à obtenir des approvisionnements supplémentaires des États-Unis d'Amérique et d'autres pays producteurs ii) diminuer la demande en utilisant des matériaux de substitution pour les briques réfractaires	b) Autres catégories (actuellement non importées): sans objet	Chercher à obtenir des approvisionnements supplémentaires des États-Unis d'Amérique et d'autres pays producteurs	Chercher à obtenir des approvisionnements supplémentaires des États-Unis d'Amérique et d'autres pays producteurs	Chercher à obtenir des approvisionnements supplémentaires des États-Unis d'Amérique et d'autres pays producteurs
B. 6 mois à 2 ans	i) telqu'en A ii) évaluer la possibilité d'utiliser les chromites du Québec et de Bird River au Manitoba pour fabriquer des produits réfractaires	i) exploiter de façon sélective les gisements du Québec dont le minerai pourrait être transformé en ferrochrome en vertu d'accords tarifaires avec les États-Unis d'Amérique ii) évaluer les techniques d'enrichissement pour obtenir de la chromite de catégorie métallurgique à partir des gisements de Bird River au Manitoba	i) telqu'en A ii) transformer certains minerais sélectionnés du Québec en ferrochrome en vertu d'accords tarifaires avec les États-Unis d'Amérique iii) évaluer la possibilité d'utiliser la chromite de Bird River pour fabriquer du FeCr	i) telqu'en A ii) évaluer la possibilité d'utiliser des matériaux de substitution dans différents produits de consommation	i) telqu'en A ii) évaluer la possibilité d'utiliser des matériaux de substitution dans différents produits de consommation
C. De 2 à 5 ans	telqu'en B	i) telqu'en B ii) si les résultats des mesures proposées à la colonne II B iii) sont satisfaisants, mettre au point des installations de transformation afin de produire de la chromite de catégorie métallurgique à partir du minerai de Bird River au Manitoba	i) telqu'en B ii) évaluer la faisabilité d'un accord tarifaire avec les États-Unis d'Amérique pour le traitement de la chromite de Bird River et/ou construire des installations de fabrication canadienne de FeCr ou convertir les fours électriques pour produire du FeCr iii) évaluer des technologies particulières de traitement des minerais canadiens de catégorie inférieure	telqu'en B	telqu'en B
D. Plus de 5 ans	i) telqu'en C ii) prendre les mesures appropriées pour identifier, évaluer et mettre en valeur d'autres ressources canadiennes de chromite de catégorie réfractaire	i) telqu'en C ii) prendre les mesures appropriées pour identifier, évaluer et mettre en valeur d'autres ressources canadiennes de catégorie métallurgique	telqu'en C	telqu'en B	telqu'en B

ANNEXES

ANNEXE 1

Prix Annuel Moyen de Chromites Sélectionnées, 1970 à 1980

Année	Transvaal[1]	Russe[2]	Turque[3]
	(équivalent en dollars canadiens/tonne)		
1970	25,62 - 27,75	51,16 - 54,29	56,52 - 57,54
1971	24,84 - 26,83	52,00 - 55,54	54,67 - 55,66
1972	23,40 - 26,32	44,57 - 46,04	53,62 - 54,59
1973	32,47 - 33,46	37,00 - 39,00	36,42
1974	45,24 - 50,05	51,83 - 56,72	62,57
1975	37,05 - 52,06	152,60	132,17 - 142,17
1976	36,88 - 44,65	147,92	128,12 - 137,82
1977	58,62 - 63,85	159,53	138,17 - 148,64
1978	60,60 - 65,09	n.a.[4]	117,84[5]- 160,47[6]
1979	62,26 - 66,87	n.a.[4]	126,84
1980	58,68 - 63,28	n.a.[4]	126,57

Sources: Prix, Metals Week; Cours du change, La Revue de la Banque du Canada, novembre 1981, p. S-117.

[1] Transvaal 44 % Cr_2O_3
[2] Russe - sèche, f.à b. point d'expédition 48 % Cr_2O_3 Cr/Fe = 4/1
[3] Turque 48 % Cr_2O_3 Cr/Fe = 3/1
[4] Prix inscrit suspendu
[5] Prix au 1er juin 1978
[6] Prix au 1er février 1978

ANNEXE 2

Prix du Chrome Métal et de Différentes Catégories de Ferrochrome[1]

	Équivalent en $ CA/kg de Cr
A. Chrome métal, 99,6 % de Cr	
par kg de matériau	
i) Électrolytique	10,39 - 11,32
ii) Boulettes comprimées sous vide	10,92 - 11,32
iii) Métal 9 % C	10,92 - 11,32
B. Ferrochrome	
1. Chrome de charge	
i) 65 à 70 % de Cr	1,33 - 1,44
ii) 50 à 55 % de Cr	1,27 - 1,28
2. Ferrochrome à teneur élevée en carbone	1,39 - 1,57
3. Ferrochrome standard à faible teneur en carbone	
67 à 73 % de Cr en gros morceaux	
i) 0,05 % C (13,6 t)	2,59
ii) 0,02 % C (13,6 t)	2,66
4. Ferrochrome Simplex	
68 à 72 % de Cr	
i) 0,015 % C	2,66
ii) A base d'azote	2,93
5. Ferrochrome - silicium	
A faible teneur en carbone	,94

Sources des données: American Metal Market, 19 août 1981, vol. 89, n° 160, p. 20; Cours du change, The Globe and Mail, 25 août 1981, p. B-12.

[1] producteur f.à b.

ANNEXE 3

Prix des Différents Produits Chimiques à Base de Chrome

	Équivalent en $ CA/kg de matériau
A. Bichromate de sodium	
i) granulaire, sacs, en wagonnée, en camionnée, à l'usine	1,33
ii) granulaire, sacs, en wagonnée, fret égalisé	1,20
B. Acide chromique	
i) 99,75 % en flocons, en cylindres, en wagonnée, fret égalisé	3,14
ii) meulée (même méthode d'établissement des prix)	3,33
C. Oxyde de chrome	
hydraté en sacs de 22,7 kg, catégorie pure en wagonnée, sacs, wagonnée	14,65 3,60 - 3,82
D. Vert de chrome	
i) chimiquement pur, très clair, sacs livrés à l'est des Rocheuses	4,48
ii) clair, chimiquement pur, très clair, sacs livrés à l'est des Rocheuses	4,53
iii) moyen, chimiquement pur, très clair, sacs livrés à l'est des Rocheuses	4,58
iv) très profond, chimiquement pur, sacs livrés à l'est des Rocheuses	4,64
E. Orange de chrome	
Chimiquement pur, sacs livrés à l'est des Rocheuses	2,21 - 2,37
F. Jaune de chrome	
Chimiquement pur, baril, livré à l'est des Rocheuses	2,90 - 3,14

Sources des données: Chemical Marketing Reporter, 24 août 1981, vol 220, n° 8, partie I, pp. 32 et 38. Cours du change, The Globe and Mail, 25 août 1981, p. B-121.

ANNEXE 4

Tarifs Douaniers Canadiens sur les Matériaux de Chrome Importés

N° tarifaire		Taux			
		Tarif préférentiel britannique	Tarif de la nation la plus favorisée	Tarif général	Tarif général préférentiel
			(%)		
32900-1	Minerai de chrome	En franchise	En franchise	En franchise	En franchise
34700-1	Chrome métal sous forme de gros morceaux, de poudre de lingots, blocs ou barres et rebuts de métal alliés contenant du chrome aux fins d'alliages	En franchise	En franchise	En franchise	En franchise
37506-1	Ferrochrome	En franchise	5	5	En franchise
92821-1	Oxydes de chrome et hydroxides	En franchise	14,7	25	En franchise
	Font exception ceux qui entrent dans la fabrication de résines artificielles et de plastiques,	En franchise	En franchise	25	En franchise
	d'additifs pour les mazouts domestiques et industriels et les huiles lubrifiantes	En franchise	5	25	En franchise
92821-2	Trioxyde de chrome employé dans la fabrication de fer-blanc et de l'acier galvanisé	En franchise	En franchise	25	En franchise
92838-8	Sulphate de chrome potassium	En franchise	En franchise	10	En franchise
92838-9	Sulphate de chrome basique	En franchise	En franchise	10	En franchise

N.B.F.: Réductions en vertu du GATT (à compter du 1er janvier de l'année donnée)

N° tarifaire	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
37506-1	5,0	4,8	4,7	4,5	4,3	4,2	4,0
92821-1	14,4	14,1	13,8	13,4	13,1	12,8	12,5

Source: Le tarif des douanes avec index des marchandises, janvier 1980, Revenu Canada.

ANNEXE 5

CHROMITE, RÉVISIONS PAYS PAR PAYS

Albanie

Ces dernières années, l'industrie de la chromite de l'Albanie a pris de l'expansion en grandeur et en importance et se classe maintenant au troisième rang dans le monde. Les exploitations minières sont réparties dans quatre régions du pays soit la région de Tropojë - Kukës dans le nord-est, la région de Bartër-Martanesh dans le centre du pays, la région de Pogradec-Lake Ohrid dans l'est et le district de Korçë dans le sud[1]. La mine de Todo Manco dans la région de Bartër-Martanesh, près de Bulqizë, au nord-est de Tirana, serait déclarée la plus grande.

Les minerais extraits en Albanie sont de qualité qui conviennent le mieux à l'industrie de la métallurgie et à la fabrication de produits réfractaires. Ces minerais servent à la fabrication du ferrochrome pour l'acier utilisé au complexe métallurgique de l'État à Elbasan. Cependant la plus grande partie de la production est exportée sous forme de minerai dont la teneur varie de 38 à 42 % de Cr_2O_3 ou sous forme de concentrés de 52 % de Cr_2O_3.

Depuis 1978, les exportations de l'Albanie sont orientées vers l'Europe (Yougoslavie) et les États-Unis où, en 1980, elles ont représenté 8,6 % des approvisionnements.

Brésil

Le Brésil est un autre pays où l'industrie d'extraction minière de la chromite a connu une grande expansion. En effet, la production (de minerai enrichi) est passée de 38 400 tonnes en 1969 à 353 940 tonnes en 1979[2]. Les mines les plus importantes sont situées dans l'État de Bahia, dans le nord-est du Brésil. La Compania de Ferro Ligas da Bahia SA (Ferbasa), premier producteur du pays, utilise le minerai de chromite pour produire du ferrochrome. La deuxième plus grande société, la Bayer AG (Brésil), produit du sable de chromite.

Cuba

Cuba est l'un des quelques producteurs de chromite à teneur élevée en aluminium (de catégorie réfractaire). Les deux mines de chromite sont situées dans la région de Moa-Baracoa, dans la province d'Oriente. Du chrome est également récupéré de la latérite à base de nickel extraite dans la même province.

Chypre

De petites quantités de concentrés de chromite de catégorie réfractaire et un peu de minerai métallurgique sont produites à Chypre, principalement par la Hellenic Mining Co. Ltd. qui exploite les gisements près de Kakopetria dans le massif Troodos.

Finlande

C'est en 1966 qu'a commencée la production de concentrés de chromite à partir du minerai du gisement Kemi de catégorie relativement inférieure (27 % de Cr_2O_3, Cr/Fe = 1,6) exploité par la Outokumpu Oy dans le nord de la Finlande. Le

concentré de la mine est envoyé à une usine de production de ferrochrome près de Tornio et une partie est également exportée vers d'autres pays, notamment les États-Unis. La société produit des boulettes de chromite utilisées en métallurgie, des concentrés de catégories de fonderie et chimique. En 1980, il semblerait que la Finlande ait été, outre l'Afrique du Sud[3], la seule grande source d'approvisionnement de minerai de catégorie chimique dans les pays du monde occidental.

Grèce

La Grèce est un petit producteur de chromite. La mine Skoumitsa dans la région de Vourinos, en Macédoine, fournit du minerai servant à la préparation de concentrés de catégorie métallurgique[4]. La Financial Mining-Industrial & Shipping Corp. (FIMISCO), à Eretria[5] près de Volos, produit des matériaux de catégorie réfractaire.

Inde

L'Inde qui est un producteur relativement important de chromite tire près de 90 % de sa production de la mine de l'État d'Orissa. Presque tout le minerai est exporté surtout au Japon mais l'industrie intérieure de la chromite est actuellement en voie d'expansion et, sous peu, elle fournira les matières premières nécessaires à une industrie locale de production de ferrochrome.

Iran

L'Iran possède des gisements de chromite à teneur élevée au nord de Bandar Abbas, le long du golfe Persique, qu'exploite la Esfandaqeh Mining Co. Les gisements sont aussi exploités dans le nord du pays par la Faryab Co. à Frojmad.

Madagascar

L'Île de Madagascar est depuis longtemps un producteur de chromite. La société d'État, la Kraoma-Kraomita Malagasy, possède deux exploitations minières à Befandriana et Andriamena. Le minerai extrait à Befandriana est transporté par camion jusqu'à Andriamena où il est transformé en concentrés. Le minerai extrait dans les deux mines (teneur d'environ 50 % de Cr_2O_3) est envoyé par transport routier et par voie ferrée jusqu'au port de Tamatave[6].

Pakistan

De la chromite de qualité supérieure (d'une teneur typique de 54,4 % de Cr_2O_3) et de catégorie métallurgique est produite en quantité limitée aux mines situées près de Muslimbagh dans le Balouchistan à la frontière de l'Afghanistan.

Philippines

Les Philippines se classent au quatrième rang des plus grands producteurs mondiaux de chromite et constituent la principale source d'approvisionnement en matériaux de catégorie réfractaire. Les provinces de Zambales, de Samar et de Palawan comptent de nombreux petits gisements de qualité supérieure.

En 1980, de la chromite réfractaire était produite aux quatre mines; en 1978, plus de 98 % de la production du pays provenait de l'installation de la Benguet Consolidated Inc. sise sur la propriété de la Consolidated Mines Inc. à Masinloc (Zambales).

Près de 17 sociétés produisent de la chromite de catégorie métallurgique. La Acoje Mining Co. (Zambales), la Trident Mining & Industrial Corp. (Île Palawan) et la Golden Arrow Mining (Île Palawan) produisent à elles-seules 63 % de cette catégorie de chromite.

République d'Afrique du Sud

La République d'Afrique du Sud qui produit de la chromite depuis 1924 est actuellement le plus grand producteur au monde (figure A 1). En 1979, sa production de chromite était de 3 296 962 tonnes tandis que ses ventes de minerai de chrome et de sables de chrome ont atteint respectivement 2 266 787 et 311 768 tonnes[7]. En 1980, la production de minerai et de concentrés[8] a atteint un record de 3,4 millions de tonnes.

Les mines de chrome d'Afrique du Sud sont réparties dans les régions du Transvaal Est et Ouest. Le minerai se trouve dans 14 grandes veines de la zone mafique du complexe de roches ignées Bushveld. Les veines de minerai pouvant atteindre jusqu'à 600 mètres de profondeur sont réparties en trois groupes: le groupe supérieur (2); le groupe intermédiaire (4) et le groupe inférieur (8).

Le minerai typique exploité en Afrique du Sud provient de la formation n° 6 du groupe inférieur connu sous le nom de Steelpoort Main dans la section est. Cette veine dont la largeur varie entre 1,1 et 1,2 mètre a contient en moyenne 44 % d'oxyde de chrome et le rapport Cr/Fe oscille entre 1,5 et 1. Dans d'autres veines, la teneur en oxyde de chrome varie entre 42 et 53 % et le rapport Cr/Fe entre 1,3 (à 1) et 2,0 (à 1)[9].

Sept sociétés dont le siège social se trouve en Afrique du Sud et quatre filiales de sociétés mères établies en Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest récupèrent du minerai de chrome et des concentrés dans environ 16 exploitations minières.

La General Mining Union Corporation Limited (Gencor) et la Barlow Rand Limited auraient chacune une production approximative de 1 million de tonnes par année. La Gencor exploite la mine de Montrose-Groothoek près de Steelpoort dans le Transvaal Est (T.E.) et une autre mine à Kroondal près de Rustenburg. Presque toute la production de la section Groothoek de la mine Montrose-Groothoek comporte du minerai à teneur élevée en fer (catégorie chimique) (par exemple, Cr_2O_3 46,82 %, FeO 25,22 %, SiO_2 0,96 %, Al_2O_3 14,84 %...)[10].

Par l'entremise de sa filiale, la Transvaal Consolidated Land & Exploration Co. Ltd., la Barlow Rand produit à ses mines Millsell Chrome du sable de chromite de qualité supérieure qui est surtout destiné à l'exportation; la société produit également du minerai chimique en morceau et des sables de fonderie à son installation Henry Gould près de Brits Transvaal Ouest (T.O.), tandis qu'à l'installation Winterveld près de Steelpoort dans le Transvaal Est (T.E.), elle produit un supplément de matériau destiné à l'usine de ferrochrome exploitée par le groupe de sociétés. En avril 1981, cette mine qui, "selon des estimations contient environ 10 % des réserves connues de chrome dans le monde occidental...(a) produit environ (68 000) tonnes par mois de minerai de chrome soit moins de 50 % de sa capacité installée"[11].

La S.A. Manganese Amcor Ltd. (Samancor) "dont la production annuelle est d'environ 500 000 tonnes"[12] produit principalement à sa mine de Grasvally près de Potgietersrus du minerai de chromite qui est surtout destiné à l'usine métallurgique de Witbank exploitée par le groupe de sociétés (par exemple, "minerai en morceau: Cr_2O_3 41 %, FeO 15,6 %, dont le rapport Cr/Fe correspond à 2,31/1; aux mines Ruighoek près de Northam, T.O., et Mooinooi près de Brits, T.O., la société produit un concentré de 52 à 53 % de Cr_2O_3 et 19,5 % de FeO et dont le rapport Cr/Fe est de 2,39/1"[13]).

AFRIQUE MÉRIDIONALE:
MINES ET INSTALLATIONS DE CHROME
ZIMBABWE
SALISBURY
Que Que
Gwelo
Selukwe
Shabani
Beira
Bulbridge
MOZAMBIQUE
BOTSWANA
TRANSKEI
Potgietersrus
GABORONE
Northam
Steelpoort
Lydenburg
Machadodorp
Zeerust
PRETORIA
Rustenburg
Krugersdorp
Brits
Witbank
Middelburg
MBABANE
MAPUTO
SWAZILAND
Johannesburg
AFRIQUE DU SUD
OCÉAN INDIEN
MASERU
LESOTHO
Richards Bay
Durban
De Aar
Vers le Cap
East London
Port-Élizabeth
Légende:
District minier important
Usine de ferrochrome
Port d'expédition de chromite
Chemin de fer principal
Région du "Great Dyke"
Complexe igné Bushveld

L'Afrique du Sud compte également d'autres producteurs dont la Zeerust Chrome Mines Ltd. qui expédie la plus grande partie de sa production à son usine de ferrochrome de Fairview, T.E.[14] la Consolidated Chrome Corp. qui a une exploitation relativement petite près de Rustenberg, T.O., la Mining Corporation Ltd., producteur de matériaux de catégorie chimique et métallurgique près de Steelpoort, T.E., et la Vereeniging Refractories Ltd. qui produit annuellement à ses exploitations minières de Nietveriend à 50 km au nord de Zeerust[15], environ 70 000 tonnes de chromite réfractaire consommée au pays ou exportée.

Il existe au pays un certain nombre de sociétés contrôlées par des capitaux étrangers notamment la Jagdlust Chrome Co. (Pty) Ltd., filiale de l'Union Carbide Corporation des États-Unis, qui produit du minerai de catégorie réfractaire destiné à l'exportation; la Lavino South Africa Pty Ltd. (production de 330 000 tonnes en 1977), filiale de l'International Minerals & Chemical Corporation qui exploite une mine près de Steelpoort, T.E.; la Waterkloof Chrome Mines (Pty.) Ltd. contrôlée par la Metallurg Inc. qui achète également pour l'exportation des quantités supplémentaires de chromite, et la Bayer AG qui expédie la production de sa mine de Rustenburg jusqu'à ses usines en Allemagne de l'Ouest[16].

Presque toute la chromite d'Afrique du Sud est envoyée à l'industrie de ferrochrome du pays qui connaît actuellement une expansion rapide et aux usines de fabrication de produits réfractaires. Le reste de la production est destiné à l'exportation. L'Afrique du Sud est actuellement la principale source d'approvisionnement dans le monde de matériaux de catégorie chimique et de sables de fonderie utilisés pour le moulage d'aciers à température élevée. En 1980, la production de chromite a atteint 3 414 000 tonnes alors que les exportations se sont chiffrées à 1 231 362 tonnes[17].

En règle générale, les exportations de chrome partent de Maputo en Mozambique mais actuellement elles sont de plus en plus détournées vers Richards Bay, en Afrique du Sud, afin d'éviter les problèmes associés aux envois à l'extérieur du pays[18,19]. L'industrie d'extraction minière de chromite d'Afrique du Sud ressent actuellement la forte diminution de la demande mondiale de matériaux à base de chrome; de nombreux producteurs du pays ont donc été contraints à réduire leur production et, dans certains cas, de cesser la production complètement. En ce qui concerne la capacité excédentaire de production, la situation pourrait s'aggraver si les matériaux de chrome sont produits comme sous-produit de la production de platine de la formation UG2 de chrome-platine de Rustenberg[20,21]. Cependant, la Western Platinum Ltd. a annoncé récemment qu'elle séparera la fraction de chrome riche du minerai de UG2 qu'elle commencera à exploiter en avril 1982 et en constituera des stocks de réserves[22].

Soudan

La Blue Nile Chromium Ltd., société à capitaux privés et la Ingessana Hills Mine Corp.[23], société d'État, extraient un peu de chromite destinée à l'exportation.

Turquie

La Turquie est le sixième plus grand producteur mondial de chromite, plus spécialement de catégorie métallurgique de qualité supérieure. Les gisements sont disséminés dans tout le pays. La plus grande partie de la production provient surtout du district de Guleman, dans l'est du pays[24]. La Etibank, la société d'extraction minière d'État, se trouve le principal producteur fournissant de 35 à 40 % de la production totale[25]. Il existe également de nombreux petits exploitants du secteur privé dont la production varie selon les conditions du marché. La Turk Maadin Sirketi (société minière Turque) fournit les matières premières dont a besoin sa société mère établie en Suède (la Ferrolegeringar).

La Turquie compte 14 grandes mines dont 8 sont équipées d'usines d'enrichissement. Les usines Eastern Chromite de la Etibank ont une capacité de transformation de 225 à 270 000 tonnes par année de minerai en concentrés principalement aux installations Sonidag et Kefdag; les installations Egemetal Madencilik A.S. et Turk Maadin Sirketi ont toutes deux une capacité annuelle de traitement de 135 000 tonnes[26].

États-Unis

Actuellement, les États-Unis ne produisent pas de chromite. Outre le chrome recyclé contenu dans les rebuts d'acier inoxydable qui a représenté 9 % des besoins du pays en 1980[27], et tous les prélèvements nets à même la réserve, les États-Unis dépendent entièrement des importations pour répondre à leurs approvisionnements en chromite. En 1980, en ce qui concerne ces approvisionnements, les États-Unis ont importé "40 % de la République d'Afrique du Sud, 16 % de l'U.R.S.S., 15 % des Philippines, 10 % de la Turquie et 19 % des autres pays"[28].

Les États-Unis maintiennent, pour leur défense nationale, une réserve de matières premières à base de chrome (voir le tableau A-1). Aucun des objectifs fixés jusqu'à maintenant pour la chromite n'a été atteint. Les stocks des consommateurs du pays (toutes les catégories) étaient équivalents à environ neuf mois de consommation.

ANNEXE Tableau A-1

Statut des stocks de réserves de chrome des États-Unis au 30 novembre 1980[1]

Matériau	Objectif	Inventaire total	% de l'objectif atteint
	(tonnes)		
Chromite:			
Catégorie métallurgique	2 902 991	1 775 360	61,2
Catégorie chimique	612 349	219 539	35,9
Catégorie réfractaire	771 107	354 709	46,0
Ferroalliages au chrome	317 514	688 553	216,9
Chrome métal	18 144	3 629	20,0

Source des données: E.C. Peterson, "Chromium" dans U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries 1981, p. 32.

[1] Outre les données indiquées, les réserves contiennent des matériaux qui n'ont pas la qualité requise pour faire partie des dits stocks de réserves: 481 914 tonnes de chromite de catégorie métallurgique et 18 835 tonnes de ferroalliages au chrome.

U.R.S.S.

L'U.R.S.S. est le deuxième plus grand producteur de chromite. Ses principales régions productrices de chromite de catégorie métallurgique sont situées près de Aktyubinsk et de Khromotau dans l'ouest du Kazakhstan[29]. L'Association Donskoye à Khromtau (un complexe de six mines à ciel ouvert et un concentrateur) fournit,

selon les estimations, près de 90 % de toute la production de minerai de cette région[30] d'où sont tirés environ 95 % de la production totale de l'Union Soviétique[31]. "La teneur en Cr_2O_3 du minerai varie habituellement entre 53 et 54 % alors que le rapport Cr/Fe est de 4/1; le minerai est donc idéal pour des applications en métallurgie. L'U.R.S.S. produit également du minerai de catégorie acceptable pour la fabrication de matériaux réfractaires et de produits chimiques"[32].

La chromite de catégorie chimique et réfractaire provient surtout de l'installation Saranovskoye[33] dans le sud de l'Oural où les gisements contiennent du minerai ayant une teneur inférieure en oxyde de chrome (20 à 40 %) et le rapport Cr/Fe = 1,5 à 2,0[34].

En 1979, les exportations soviétiques de chromite étaient évaluées à 750 000 tonnes (30,6 % de la production) dont les trois quarts destinées à des pays à économie de marché.

Zimbabwe

Le Zimbabwe (Figure 1 de l'annexe), est le quatrième plus grand producteur mondial de chromite et constitue surtout une importante source d'approvisionnements en matériau de catégorie métallurgique. Presque 70 % de la production de chromite de catégorie métallurgique provient des mines Selukwe Peak et Railway Block à Selukwe qu'exploite la Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd. (filiale de l'Union Carbide Corporation).

La Rhodall Limited (membre du groupe Anglo-American) produit des minerais de catégories réfractaire et métallurgique au chantier d'exploitation de Great Dyke. Neuf autres exploitants y compris la Zimbabwe Mining & Smelting Co. (Pvt.) Ltd. exploitent également des mines dans la région de Great Dyke[35].

Les spécifications des chromites de Great Dyke (tableau A 2) sont fournies par D. Slatter[36].

ANNEXE Tableau A 2

Chromites de Great Dyke

	Teneur élevée en chrome (veine n° 7)	Teneur élevée en chrome (veine n° 4)	Teneur élevée en fer (veine n° 2)	Gisement éluvial Concentrés
Cr_2O_3(%)	49,9	51,4	43,4	51,5
FeO(%)	13,2	15,9	17,2	19,9
Rapport Cr/Fe	3,3	2,8	2,2	2,3

Slatter est d'avis "que même si les minerais de Great Dyke sont de très bonne qualité chimique, il existe cependant certains problèmes associés à son extraction minière et à sa transformation en ferrochrome. En raison du caractère généralement très étroit des veines, les coûts d'extraction sont donc élevés comparativement aux minerais de l'Afrique du Sud où les veines sont beaucoup plus larges. Par ailleurs, une grande partie des minerais est friable et se désintègre facilement en fines"[37].

Habituellement, les exportations de minerai de chrome du Zimbabwe sont expédiées via le port de Port Elizabeth en Afrique du Sud[38]. Actuellement, "la rareté de la main-d'oeuvre qualifiée nuit considérablement à l'industrie d'extraction minière; d'autres secteurs de l'économie comme le transport par voies ferrées y contribuent également. Le manque de moyens de transport nuit aux expéditions de minerai et de métaux vers l'extérieur et aux arrivages du matériel d'extraction et aux provisions"[39]. Cependant, cette situation comporte quand même quelques aspects positifs puisqu'au moment où les sanctions ont été suspendues il n'y avait aucun trafic entre le Zimbabwe et le Mozambique. Depuis ce temps, le port de Beira a servi à la manutention de 1 500 tonnes par jour de fret du Zimbabwe...tandis que le port de Maputo en reçoit 1 100 tonnes par jour et bientôt il pourrait être question de 9 000 tonnes par jour.

"Le Mozambique cherche de l'aide financière et technique pour moderniser ses ports, renouveler des voies ferrées et construire des locomotives de réserve et du matériel roulant. Cependant, les observateurs sont d'avis qu'il lui faudra des années avant de réaliser son projet[40]."

Autres pays

La Colombie et le Japon produisent un peu de chromite.

RÉFÉRENCES

1 W.G. Steblez, "The Mineral Industry of Albania", U.S. Bureau of Mines, prétirage de Minerals Yearbook, 1978-1979, p. 7.

2 Brasil, Departmento Nacional da Produçao Mineral, "Balanco Mineral Brasileiro, 1980, Minerais Metalicos, vol. 1", p. 104.

3 E.M. Dickson, "Chromite: Southern Africa Holds Sway", Industrial Minerals, n° 150, mars 1980, p. 65.

4 Roskill Information Services Ltd., The Economics of Chromium, troisième édition, 1978, p. 85.

5 E.M. Dickson, "Chromite: Southern Africa Holds Sway" Industrial Minerals, n° 150, mars 1980, p. 63.

6 E.C. Peterson, cit., p. 10.

7 République d'Afrique du Sud, Département des mines, "Table 6, Mineral Production and Sales" dans Mining Statistics 1979, p. 13.

8 Peterson, op. cit., p. 12.

9 "Chromium" dans South African Mining & Engineering Yearbook, édition de 1978, p. 61.

10 E.M. Dickson, "Chromite - Southern Africa Holds Sway" dans B.M. Coope et E.M. Dickson (eds.) "Raw Materials for the Refractories Industry: An 'Industrial Minerals' Consumer Survey", p. 67.

11 Le personnel, "Problems for Chrome Producers", Mining Journal, vol. 296, n° 7600, p. 296.

[12] Dickson, op. cit., p. 67.

[13] Dickson, op. cit., p. 68.

[14] Dickson, Ibid.

[15] Dickson, Ibid.

[16] Dickson, op. cit., p. 68.

[17] Le personnel, "Future Trade in Southern Africa's Industrial Minerals", Industrial Minerals, n° 166, juillet 1981, p. 45.

[18] Le personnel, "New Constraints Squeeze Zimbabwe Cr," Metal Bulletin, n° 6578, 3 avril 1981, p. 19.

[19] Le personnel, "Are Ore Talks now in Agreement?", Metal Bulletin, n° 6579, 7 avril 1981, p. 17.

[20] Le personnel, "New Technology May Unlock more Platinum from Bushveld Resources", Engineering and Mining Journal, vol. 181, n° 11, novembre 1980, pp. 35 et 39.

[21] Le personnel, "Metallurgical Development Impacts on PGM, Cr Mining", Mining Magazine, vol. 143, n° 5, pp. 381 et 383.

[22] Le personnel, "S.A. Producers at Variance", Mining Journal, vol. 297, n° 7632, 27 novembre 1981, p. 408.

[23] "The Mineral Industry of Sudan", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, prétirage de 1978-1979, p. 4.

[24] Le personnel, "Etibank's Role in the Turkish Mining Industry", Mining Magazine, vol. 140, n° 6, juin 1979, p. 493.

[25] Le personnel, "Turkey", Mining Annual Review, 1981, p. 527.

[26] "The Mineral Industry of Turkey", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, prétirage de 1978-1979, p. 9.

[27] E.C. Peterson, "Chromium" in the U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries 1981, p. 32.

[28] Peterson, Ibid.

[29] Roskill Information Services Ltd., op. cit., p. 165.

[30] Dickson, op. cit., p. 69.

[31] "The Mineral Industry of the U.S.S.R.", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, prétirage de 1978-1979, p. 27.

[32] Roskill Information Services Ltd., Ibid.

[33] Dickson, Ibid.

[34] Roskill Information Services Ltd., Ibid.

[35] Shekarchi, Margon, Clarke, et Ambrosio, op. cit., p. 18.

[36] D. Slatter, "Economic metals in the Great Dyke", Metal Bulletin Monthly, n° 125, mai 1981, p. 24.

[37] Slatter, Ibid.

[38] Le personnel, "New Constraints Squeeze Zimbabwe Cr", Metal Bulletin, n° 6578, 3 avril 1981, p. 19.

[39] Le personnel, "Zimbabwe: 18 Months After", Mining Journal, vol. 297, n° 7628, 31 octobre 1981, p. 330.

[40] Ibid.

ANNEXE 6.

FERROCHROME, RÉVISIONS PAYS PAR PAYS

Albanie

Une usine de ferrochrome aurait été mise en service dans le district de Mati en 1979[1].

Brésil

Le Brésil est maintenant un grand fournisseur de ferrochrome avec une production d'environ 92 000 tonnes en 1980[2]. Depuis 1963, la Compania de Ferro Ligas da Bahia SA (Ferbasa) produit du chrome à son usine de Pojuca, à Bahia. Le Brésil est maintenant un important exportateur de ferrochrome à teneur élevée en carbone et, en 1980, 45 % de sa production était expédiée à l'étranger.

Chine

La Chine est maintenant dotée d'une industrie du ferrochrome dont la production est évaluée à environ 90 000 tonnes par année.

Finlande

La Finlande produit du ferrochrome de charge à l'usine de la Outokumpu Oy, à Tornio dans le nord du pays. Sa production est soit exportée soit utilisée pour la fabrication d'acier inoxydable à l'usine que la société exploite au même endroit[3].

France

La France qui était considérée en 1977 comme le septième plus grand producteur de ferrochrome au monde, occupe maintenant le neuvième rang en raison de l'augmentation de la production du Brésil et de la Chine. La Société Française d'Électrométallurgie est le principal producteur de ferrochrome du pays.

Selon un article publié par R.J. Wicks[4], le gouvernement de la France aurait acheté environ 80 000 tonnes de ferrochrome à teneur élevée en carbone et de chrome de charge représentant la consommation d'environ 9 mois.

Inde

On trouve en Inde deux grands producteurs de ferrochrome, la Ferro Alloys Corporation Ltd. dont l'usine de Tumsa, dans l'État de Maharashtra, assure le traitement de la chromite extraite à la Orissa Mining Corp. Ltd. et la Visvesvaraya Iron & Steel Ltd. qui a une usine à Mysore. Le niveau annuel de production de l'Inde dépend en grande partie de ses approvisionnements en énergie électrique.

Japon

Même si le Japon n'est virtuellement pas un producteur de chromite, (sa production de ferrochrome à teneurs élevée et faible en carbone a atteint respectivement 317 000 et 48 000 tonnes en 1980)[5] ce pays est le troisième plus grand pro-

ducteur de ferrochrome au monde. La Showa Denko KK, le plus grand producteur du pays, produit du ferrochrome à faible teneur en carbone et du silicium-chrome à ses installations de Chichibu et du ferrochrome à teneur élevée en carbone à son usine de Toyama. La Japan Metals & Chemicals Co. Ltd. produit, quant à elle, du ferrochrome à teneurs élevée et faible en carbone et du ferrochrome-silicium à faible teneur en carbone.

En 1976, le Japon importait surtout ses approvisionnements de chromite de l'Afrique du Sud, de l'Inde, de Madagascar, des Philippines, de la Turquie et de l'Iran. Ces dernières années le Japon a également importé de plus en plus de ferrochrome de l'Afrique du Sud.

Le Japon poursuit activement l'application d'une politique d'investissement dans des exploitations de chromite réparties dans tout le monde, surtout au Brésil, à Madagascar et au Soudan.

Mexique

La Claa Minera Autlan SA de CV exploite une petite usine de production de ferrochrome à teneur moyenne en carbone à Tezuitlan; de la chromite importée lui sert de matériel d'alimentation.

Norvège

La A/S Bjolvefossen produit, à sa petite usine de Alvik, du ferrochrome à teneurs élevée et moyenne en carbone à partir de minerais importés.

Philippines

La Ferro-Chemicals Inc. a une très petite unité de production de ferrochrome à Mindanao.

République d'Afrique du Sud

De tous les pays du monde occidental, c'est la République d'Afrique du Sud (Figure A 1) qui est le principal fournisseur de ferrochrome produit à partir de ses propres minerais. La capacité installée du pays serait maintenant d'environ 800 000 tonnes. Sur les six grandes usines de chrome de charge, deux produisent également des catégories à faible teneur en carbone. L'usine Ferrometals Ltd. de la S.A. Manganese Amcor Ltd. à Witbank était pourvue de la plus grande capacité de production évaluée à 245 000 tonnes en 1979. La Tubatse Ferrochrome (Pty) Ltd. (dont une partie des intérêts appartiennent au groupe Gencor) possède une capacité annuelle de production d'environ 109 000 tonnes soit l'équivalent de la capacité de la Consolidated Metallurgical Industries Ltd. gérée par la Johannesburg Consolidated Investment Co. Ltd. La Middleburg Steel & Alloys (Pty) Ltd., membre du groupe Barlow Rand Limited, possède également une capacité de production d'environ 109 000 tonnes par année.

Les ventes locales de l'Afrique du Sud ne représentent qu'une petite fraction, peut-être 3 %, de la production. Les exportations, qui ont représenté environ 97 % de la production (660 000 tonnes) en 1979, sont passées à 79 % en 1980 (685 000 tonnes). Les stocks de ferrochrome de l'Afrique du Sud sont maintenant évalués à environ 340 000 tonnes soit environ 62 % des exportations de 1980[6].

Suède

La Suède est le sixième plus grand producteur de ferrochrome au monde outre d'être un grand producteur de ferrochrome-silicium. Puisque la Suède ne produit pas de chromite, elle obtient surtout ses approvisionnements de la Finlande et de l'U.R.S.S.

Turquie

La Etibank, entreprise minière nationale de la Turquie, exploite des installations de production de ferrochrome à Antalaya (à faible teneur en carbone) et à Elazig-Gulusgur dans le district de Guleman (à teneur élevée en carbone). Selon les estimations, les exportations annuelles de la Turquie auraient atteint 28 000 tonnes[7] en 1980.

États-Unis

Ces dernières années, l'industrie de production de ferrochrome des États-Unis a perdu de son importance sur la scène mondiale, en grande partie, en raison de la forte concurrence des autres usines exploitées en Afrique du Sud et ailleurs qui appartiennent souvent à des filiales de sociétés américaines. La diminution de la production américaine est également "attribuable à la fermeture d'environ la moitié des installations actuelles de production du pays en raison du caractère désuet de l'équipement de production qui, en outre, ne répond plus aux exigences environnementales et à d'autres règlementations"[8].

Le gouvernement décidait le 15 novembre 1978 d'augmenter les droits imposés "sur le ferrochrome contenant plus de 3 % par poids de carbone et évalué à moins de 38 ¢ la livre"[9] afin de redresser l'industrie intérieure du ferrochrome des États-Unis. Récemment, l'Administration actuelle des États-Unis a décidé de prolonger d'une année l'imposition de cette mesure[10].

U.R.S.S.

Les usines de production de ferrochrome de l'U.R.S.S. se trouvent à Aktyubinsk, à Chelyabinsk dans le moyen-Oural et à Khromtau dans le Kazakhstan. Selon les estimations, presque toute la production de ferrochrome de l'U.R.S.S. serait consommée par des pays associés.

Yougoslavie

Il existe actuellement trois producteurs de ferrochrome en Yougoslavie. La Dalmacija, près de Split qui produit du ferrochrome à teneur élevée en carbone, la Jugohrom HEK, à Skopje, qui produit du ferrochrome à teneurs élevée et faible en carbone et la Tovarna Dusika Ruse, à Ruse, qui peut produire du ferrochrome à teneurs élevée et faible en carbone et du silicium-chrome.

Zimbabwe[11]

Environ 75 % de la production de chromite du Zimbabwe est expédiée aux deux usines de production de ferrochrome du pays (figure A 1), c'est-à-dire à la Rhodall Limited près de Gwelo dont la capacité annuelle de production est actuellement de 103 000 tonnes et à l'usine de l'Union Carbide à Que Que qui peut produire

environ 82 000 tonnes par année. La petite usine exploitée par la Rio Tinto Rhodesia Ltd. a été fermée en 1977. Environ 90 % du trafic importation-exportation du Zimbabwe passe actuellement par l'Afrique du Sud.

Les chromites du Zimbabwe sont habituellement utilisées pour la production de fines "qui ne peuvent être utilisées comme matériel d'alimentation de fours à arcs électriques submergés et (selon D. Slatter[12]) l'industrie est de plus en plus contrainte de construire des installations d'agglomération notamment de fabrication de briquettes ou de boulettes afin de pouvoir utiliser une plus grande quantité de minerais friables et de fines".

RÉFÉRENCES

[1] K. Lavrencic, "Albania" in Mining Annual Review, 1981, p. 602.

[2] Le personnel, "Brazil consolidates in alloys", Metal Bulletin, n° 6588, 12 mai 1981, p. 21.

[3] Tuoyinen, Relander et Honkaniemi, op. cit. pp. 127-133.

[4] R.J. Wicks, "Moving Toward Stability", American Metal Market, vol. 89, n° 243, 17 décembre 1981, p. 11.

[5] Le personnel, "Japanese Alloy Production Slips in Second Half", Metal Bulletin, n° 6583, 24 avril 1981, p. 21.

[6] Le personnel, "SA's FeCr Sales Unveiled", Metal Bulletin n° 6580, 10 avril 1981, p. 21.

[7] A.G. Thomson, "Chromite" in Mining Annual Review, 1981, p. 79.

[8] L.G. Bonar "The Outlook for Selected Strategic Materials", Presentation to the Conference on Essential Resources, The Conference Board Inc., Washington, D.C., 1er décembre 1981, p. 9.

[9] U.S. Federal Register, vol. 43, n° 233, 17 novembre 1978, p. A-54.

[10] D.R. Chase, "A Decision Not To Decide", American Metal Market, vol. 89, n° 243, 17 décembre 1981, p. 10.

[11] E. Shekarchi, U.S. Bureau of Mines, "Zimbabwe", MP Mineral Perspective, août 1981.

[12] D. Slatter, op. cit., p. 24.

ANNEXE 7

RAPPORTS SÉLECTIONNÉS SUR LE CHROME, PRÉPARÉS PAR ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA ET LES ORGANISMES QUI L'ONT PRÉCÉDÉ

F. Cirkel, "Chrome Iron Ore Deposits of the Eastern Townships", in Summary Report of the Mines Branch of the Department of Mines for the Nine Months ending December 31, 1908, Ottawa, King's Printers, 1909, p. 41.

K.W. Downes, and D.W. Morgan, "Utilization of Low Grade Domestic Chromite". Mines Branch, Memorandum Series n°. 116, 1951, 42 pp.

M.A. Qayyum, et D.A. Reeve, "Reduction of Chromites to Sponge Ferrochromium in Methane-Hydrogen Mixtures", Canadian Metallurgical Quarterly, vol. 15, n° 3, juillet-septembre 1976, pp. 193-200.

D.H.H. Quon, et K.E. Bell, "Degradation of Slagline Chrome-Magnesia Bricks in Secondary Steelmaking under Vacuum Environment: A Progress Report". CANMET, Programme de recherche sur les minéraux, Division des Laboratoires des sciences minérales, Rapport MRP/MSL 81-83 (IR), 2 pp.

D. Raicevic, "Evaluation of Processes for Recovery of Chromium from Bird River Chromite Deposits", CANMET, Programme national de recherche sur les minéraux, Rapport du laboratoire des sciences minérales MRP/MSL 75-8 (IR), 25 pp.

D. Raicevic, "Methods for Chromium Recovery from Manitoba Bird River Chromite Deposits", Canadian Mining Journal, vol. 98, n° 11, novembre 1977, pp. 61-68.

D. Raicevic, "Technical Review of Ore Dressing Investigations on Canadian Chromite Ores Conducted at CANMET from 1918 to 1976", CANMET, Programme de recherche sur les minéraux, Laboratoires des sciences minérales, CANMET, Rapport 76-39, 1976, 58 pp.

G.W. Riley, "Recovery of Chromite from Reclaimed Foundry Sand", Direction des mines, Division du traitement des minéraux, Rapport IR 69-13, 8 pp.

G.M. Ritcey, et B.H. Lucas, "An Alkaline Roast-Leach Process for Treatment of Titaniferous Magnetite for Recovery of Chromium, Vanadium and Aluminum", Bulletin CIM, vol. 73, n° 821, septembre 1980, pp. 126-132.

V.B. Schneider, "The Chromium Industry - Canada and the World", Division des ressources minérales, Bulletin MR 61 d'information sur les minéraux, Ottawa, 1963, 64 pp.

G.P. Wigle, "Chromium Production, Trade, Consumption, Products and Product Manufacture", Direction des ressources minérales, Rapport interne sur les ressources minérales MRI 496/71, septembre 1971, 33 pp.

ANNEXE B

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

J.D. Bateman, "Bird River Chromite Deposits, Manitoba", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, vol. 46, 1943, pp. 154-183.

H.G. Brandstatter, "Extraction of Chromium from Low-grade Domestic Deposits", Ontario Research Foundation presentation to CANMET, Mineral Sciences Laboratories Seminar, mars 1981.

D.L. Buchanan, "Chromite Production From the Bushveld Complex", World Mining, vol. 32, n° 10, septembre 1979, pp. 97-101.

J.F. Davies, "Chromite Deposits of Southeastern Manitoba", Canadian Mining Journal, vol. 79, n° 4, avril 1958, pp. 112-114.

B.T. Denis, "Les gisements de chromite dans les cantons de l'Est au Québec", Bureau des Mines du Québec, rapport annuel, 1931, partie D, 106 pp.

E.M. Dickson, "Chromite: Southern Africa Holds Sway", Industrial Minerals, n° 150, mars 1980, pp. 53-73.

M. Dorath, "Chrom", Band 14 die "Metallischen Rohstoffe", Stuttgart, Ferdinand Enk Verlag, 1962, p. 371.

F. Ergunalp, "Chromite Mining and Processing at Kavak Mine, Turkey", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 89, partie A, octobre 1980, pp. A179-A184.

N. Kacira, "Chromite Occurrences in the Canadian Appalachians", CIM Bulletin, vol. 75, n° 837, janvier 1982, pp. 73-82.

C.L. Kusik, H.V. Makar, et M.R. Mounier, "Availability of Critical Scrap Metals Containing Chromium in the United States", U.S. Bureau of Mines, Information Circular IC 8822, 1980, 51 pp.

M. Ghisler, "The Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Pre-Orogenic Archaean Stratiform Chromite Deposits at Fiskenaesset, West Greenland", Berlin, Gebrüder Born Trger, 1976, 156 pp.

International Iron and Steel Institute, "Chromium and the Steel Industry", Brussels, Belgium, IISI, 1981, 114 pp.

G.A. Kingston, R.A. Miller, et F.I. Carillo, "Availability of U.S. Chromium Resources", U.S. Bureau of Mines, Information Circular 8465, Washington, D.C., 1970. G.P.O., 23 pp.

R. Marcotte, "Gîtes et indices de chromite au Québec", Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, document public Varia, 724, novembre 1980, 58 pp.

S.V. Mekasleva, "Chromium" dans Rundkvist, D.V. (ed.), "Criteria of Forecast Associations of Regions for Useful Solid Mineral Deposits", Leningrad, Nedra Publishing House, 1975.

Mining Journal Limited, "Mining Annual Review, 1981", Londres, Mining Journal Limited, 1981, 632 pp.

J.L. Morning, "Chromium - 1977", U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Profiles MCP-1, Pittsburgh, Pa., U.S. Bureau of Mines, 1977, 14 pp.

J.L. Morning, N.A. Matthews, et E.C. Peterson, "Chromium": Chapitre de Mineral Facts and Problems, édition de 1980, U.S. Bureau of Mines, prêtirage du Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, 16 pp.

T. Mutanen, "A New Type of Platinum-Bearing Chromite Ore in the Kaitelainen Mafic Layered Intrusion, Northern Finland", dans D. Pretorius (ed.) "Third International Platinum Symposium, Abstracts of Papers", Pretoria, Society of Economic Geologists and the Geological Society of South Africa, 1981, p. 28.

W. Omer-Cooper, et P.G. Moeskops, "Chromium and Chromite - A Review with Particular Reference to Australia", Amdel Bulletin, n° 23, octobre 1978, pp. 7-23.

A.J. Owen, "Refractories", Industrial Minerals, n° 137, février 1979, pp. 43-57.

J. Parry, (ed.), "Ferroalloys: A World Survey", Londres, Metal Bulletin Ltd., 1979, 170 pp.

M. Peatfield, et D.R.F. Spencer, "Chromite Usage in Refractory Brick Production", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 89, partie C, décembre 1980, pp. C173-C179.

E.C. Peterson, "Chromium" dans U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, vol. II, Metals and Minerals Washington, D.C., G.P.O.

E.C. Peterson, "Chromium: prêtirage de 1980, Bureau of Mines Minerals Yearbook", Pittsburgh, Pa., U.S. Bureau of Mines, nd., 12 pp.

Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Chromium": Troisième édition, 1978, Londres, Angleterre, Roskill Information Services Ltd., 1978, 161 pp.

H. Saitoh, (ed.) "1979 Ferro Alloy Manual", The Jex Report Co. Ltd. Tokyo, 1979, 243 pp.

F.J. Schottman, "Ferroalloys: Chapitre de la publication Mineral Facts and Problems, édition de 1980", U.S. Bureau of Mines, prêtirage du Bulletin 671, Washington, D.C., G.P.O., 1980, 10 pp.

D. Slatter, "The Chromium Resources of Zimbabwe", University of Zimbabwe, Institute of Mining Research Report N° 36, Salisbury, 1981, 17 pp.

D. Slatter, de L., "Physical Properties of Rhodesian Chrome Ores and Their Significance in Ferrochromium Production", University of Rhodesia, Institute of Mining Research, Report N° 28, Salisbury, 1978, 75 pp.

R. Stanley, "Chromium in Southern Rhodesia", Salisbury, Rhodesia du sud, imprimeur du gouvernement, n.d., 21 pp.

A.H. Sully, "Chromium", Londres, Butterworths Scientific Publications, 1954, 272 pp.

C.H. Stockwell, "Chromite Deposits of the Eastern Townships, Quebec", Transactions of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, vol. 47, 1944, pp. 71-86.

H. Tuovinen, J. Relander, et M. Honkaniemi, "The Influence of Charge Quality on Charge Chrome Smelting", American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Iron and Steel Society, 36th Electric Furnace Conference Proceedings 1978, vol. 36, Warrendale Pa., AIME, 1979, pp. 127-133.

M.J. Udy, "Chromium, Volume I" New York, Reinhold Publishing Corporation, 1956, 433 pp.

_____, "Chromium, Volume II", New York, Reinhold Publishing Corporation, 1956, 402 pp.

United States Bureau of Mines, "Minerals Facts and Problems édition de 1975", U.S. Bureau of Mines Bulletin 667, Washington, D.C., G.P.O., 1976, 1259 pp.

United States, International Trade Commission, "High-Carbon Ferrochromium: Report to the President on Investigation N° TA-203-8 under Section 203 of the Trade Act of 1974", USITC Publication N° 1185, Washington, D.C., U.S. International Trade Commission, 1981, 80 pp.

United States, National Materials Advisory Board, "Contingency Plans for Chromium Utilization", Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1978, 347 pp.

L Whalley, "Chromium Substitution", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 89, section C, septembre 1980, pp. C107-C113.

P.J. Whittaker, "Chromite Deposits in Ontario", Ontario Geological Survey, Open File Report, OFR 5306, 1980, 152 pp.

le 28 février, 1983